

Aus dem Institut für Arbeits- und Sozialmedizin
der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Intraindividuelle Variationen des Fingertemperaturverlaufes nach Kälteprovokation

Untersuchungen zur objektiven Diagnostik

INAUGURALDISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

dem Fachbereich Medizin
vorgelegt von
Dag Steeger
aus Frankfurt/Hessen

Mainz 1988



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554409_0005

AUS DEM INSTITUT FÜR ARBEITS- UND SOZIALMEDIZIN
DER
JOHANNES GUTENBERG-UNIVERSITÄT IN MAINZ

INTRAINDIVIDUELLE VARIATIONEN DES FINGER-
TEMPERATURVERLAUFES NACH KÄLTEPROVOKATION
UNTERSUCHUNGEN ZUR OBJEKTIVEN DIAGNOSTIK

INAUGURALDISSERTATION
ZUR
ERLANGUNG DES DOKTORGRADES DER MEDIZIN
DER
JOHANNES GUTENBERG-UNIVERSITÄT IN MAINZ

DEM MEDIZINISCHEN FACHBEREICH VORGELEGT
VON

DAG STEEGER
AUS FRANKFURT/HESSEN

MAINZ 1988

Dekan:

Prof. Dr. med. M. Thelen

1. Gutachter:

Prof. Dr. H. Dupuis

2. Gutachter:

Prof. Dr. med. H. Konietzko

Tag der Promotion: **23.11.1988**

Gewidmet meinen lieben Eltern

und meiner verstorbenen Großmutter Frau Clara Schwarz

V O R W O R T

Für die Überlassung des Themas möchte ich mich sehr herzlich bei Herrn Prof. Dr. H. Dupuis (Leiter der Arbeitsgruppe Ergonomie am Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz) bedanken. Herr Prof. Dr. H. Dupuis gewährte mir jederzeit eine großzügige wissenschaftliche Beratung und Unterstützung.

Zu besonderem Dank verpflichtet bin ich Herrn Dr.rer.nat. E. Hartung, der mir stets hilfreich mit Hinweisen und Ratschlägen zu Seite stand.

Allen Mitarbeitern des Institutes, besonders Frau W. Gilsdorf, Frau P. Finkenauer und den Herren K. Adler und M. Graziano sei für die Unterstützung bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Versuche an dieser Stelle mein Dank ausgesprochen.

Mein Dank gilt nicht zuletzt meiner Ehefrau Diana sowie Frau Gisela Steeger und Frau Ute Soukup für ihre Mithilfe beim Entstehen dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Fragestellung	3
3. Theoretischer Teil	4
3.1 Physiologische Grundlagen der Temperaturregulation	4
3.1.1 Regelmechanismen der Temperaturregulation	4
3.1.2 Temperaturadaption beim Menschen	11
3.2 Ätiologie und Pathogenese des Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndroms (VVS)	12
3.3 Der Kälteprovokationstest (KPT) im Fachschrifttum	16
3.4 Die Infrarot-Thermographie (IRT) als diagnostisches Verfahren	24
4. Experimenteller Teil	26
4.1 Methodik	26
4.1.1 Versuchspersonen	26
4.1.2 Versuchskonzeption	26
4.1.3 Diagnostische Verfahren	29
4.1.3.1 Der Kälteprovokationstest	29
4.1.3.2 Die Fingerkuppen-Thermometrie (FKT)	29
4.1.3.3 Die Infrarot-Thermographie (IRT)	31
4.1.3.4 Versuchsablauf	34
4.2 Untersuchungsergebnisse	36
4.2.1 Ergebnisse der Infrarot-Thermographie	36

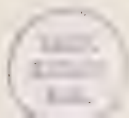
	<u>Seite</u>
4.2.2 Zusammenfassung der mittels IRT gewonnenen Ergebnisse	48
4.2.3 Ergebnisse der Fingerkuppen-Thermometrie (FKT)	50
4.2.4 Zusammenfassung der mittels FKT gewonnenen Ergebnisse	62
4.2.5 Gegenüberstellung der Infrarot-Thermographie und der Fingerkuppen-Thermometrie (FKT)	64
5. Diskussion	67
5.1 Versuchsmethodik	68
5.2 Versuchsergebnisse	69
5.3 Interpretation	72
5.4 Vergleich von Infrarot-Thermographie und Fingerkuppen-Thermometrie	74
5.5 Schlußfolgerungen	75
6. Zusammenfassung	78
7. Literaturverzeichnis	81
8. Abkürzungen und Begriffe	87
9. Anhang	

1. Einleitung

Aufgrund der hohen Leistungsanforderungen unserer technisierten Arbeitswelt verlieren einfache mechanische Werkzeuge (Säge, Feile usw.) weitgehend an Bedeutung. Die zunehmende Verwendung moderner technischer Geräte (Motorsäge, Schleifmaschine usw.) führt einerseits zu einer Erleichterung und zusätzlichen Beschleunigung des Arbeitsvorganges. Andererseits resultiert aus der Modernisierung vieler Arbeitsgeräte eine erhöhte gesundheitliche Gefährdung des Menschen am Arbeitsplatz, die dem Arbeitsmediziner vielerlei Aufgaben stellt. So kann die Übertragung mechanischer Schwingungen in Abhängigkeit von der Schwingungsbelastung (Frequenz, Stoßhaltigkeit, Amplitude, Regelmäßigkeit, Richtung und Einleitstelle) unterschiedliche Gesundheitsschäden zur Folge haben. Große Aufmerksamkeit erfordert die Frage nach dem krankmachenden Einfluß von Vibrationen.

Vibrationsbedingte Knochen- und Gelenkerkrankungen sind in der Bundesrepublik Deutschland durch zahlreiche experimentelle Untersuchungsreihen ausführlich erforscht. So läßt sich die Diagnose der durch Schwingungsexposition hervorgerufenen Knochen- und Gelenkerkrankungen des Hand-Arm-Systemes (Lunatummalazie, Arthrose des Handgelenkes, des Ellenbogengelenkes und Acromio-Claviculargelenkes, Osteochondrosis dissecans des Ellenbogengelenkes usw.) unter Heranziehung der Berufsanamnese und des Röntgenbefundes in vielen Fällen ohne größere Schwierigkeiten stellen. Typische berufsspezifische Röntgenbefunde, die ausschließlich bei Vibrationsexponierten auftreten, liegen jedoch nicht vor.

Außer der unmittelbaren Einwirkung von Schwingungen auf die Knochen und Gelenke sind bei chronischer Vibrationsexposition auch vasomotorische Störungen an den Händen nachgewiesen worden. So wird bei Motorsägeführern, die aufgrund ihres Berufes



einer langjährigen Vibrationsbelastung ausgesetzt waren, das sogenannte "Vibrationsbedingte Vasospastische Syndrom (VVS)" beobachtet. Dieses Krankheitsbild äußert sich in Form eines plötzlichen Weiß- und Kaltwerdens eines oder mehrerer Finger. In der BRD wird das VVS seit 1977 als eigenständige Berufskrankheit anerkannt.

Die Diagnose des VVS hat sich in der Vergangenheit als schwierig erwiesen, da, anders als bei den Knochen- und Gelenkerkrankungen, spezielle diagnostische Verfahren erst noch entwickelt werden mußten. In der internationalen Fachliteratur wird empfohlen, den objektiven Untersuchungsmethoden eine genaue Befragung zur Krankheitsentwicklung, Symptomen und Beschwerden voranzustellen. Zur Zeit wird zur Diagnose des VVS zumeist eine Kälteprovokation in Verbindung mit thermographischen oder thermometrischen Hauttemperaturmessungen angewendet (Kälteprovokationstest). International wird der Kälteprovokationstest als das grundlegende Untersuchungsverfahren zur Diagnose des VVS angesehen.

Eine abschließende Beurteilung des Kälteprovokationstestes ist jedoch nur schwer möglich, da bis heute noch keine einheitliche Standardisierung dieser Untersuchungsmethode vorgenommen wurde. Auch die Kriterien, die einem pathologischen Befund zugrunde liegen, sind bei den verschiedenen Untersuchungen gegenwärtig noch nicht einheitlich. Außerdem ist noch nicht ausreichend geklärt, inwieweit die durch den Kälteprovokationstest hervorgerufenen vasomotorischen Reaktionen intraindividuelle und interindividuelle Störungen aufweisen.

2. Fragestellung

Anhand der dieser Dissertation zugrunde liegenden Untersuchungen soll geklärt werden, inwieweit die durch den Kälteprovokationstest hervorgerufenen vasomotorischen Reaktionen der peripheren Fingergefäße intraindividuellen Schwankungen unterworfen sind. Dabei ist die Frage, ob zwischen den Versuchspersonen in Bezug auf die intraindividuellen Schwankungen Unterschiede bestehen, zu beantworten. Die Untersuchungen wurden an 9 gesunden männlichen nichtschwingungsbelasteten Versuchspersonen (VPn) im Alter von 18 bis 28 Jahren durchgeführt. Als Parameter für die periphere Durchblutung dient die Fingertemperatur vor und im Anschluß an die Kälteprovokation.

Weiterhin ist zu überprüfen, ob intraindividuelle Schwankungen der Fingertemperatur nach der Kälteprovokation die diagnostischen Kriterien des Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndroms beeinflussen. In Untersuchungen, die am Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der Universität Mainz vorgenommen wurden, galt die Zeit, die nach der Kälteprovokation vergeht, bis die Finger eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$ erreichen, als geeignetes Kriterium.

Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen wiesen die Versuchspersonen eine normale Gefäßreaktion auf, wenn sie bis zur 15. Minute nach der Kälteprovokation mit den Temperaturwerten der 10 Finger die 28°C -Grenze überschreiten. Hinweise auf eine pathologische Reaktion bestehen, wenn die Versuchspersonen bis zur 30. Minute nach Beginn des Kälteprovokationstestes noch keine Fingertemperaturen von 28°C erreichen. Weist der Verlauf der Fingerkuppentemperatur nach der Kälteprovokation große intraindividuelle Schwankungen auf, so ist die Wertigkeit des oben angeführten Kriteriums im Hinblick auf seine Aussagefähigkeit zu überprüfen. Hingegen ist eine eindeutige diagnostische Aussage möglich, wenn die Versuchspersonen keinen bzw. nur geringen intraindividuellen Schwankungen unterliegen.

3. Theoretischer Teil

3.1 Physiologische Grundlagen der Temperaturregulation

Zum besseren Verständnis der experimentellen Fragestellung werden einige physiologische Grundlagen der Temperaturregulation (= Thermoregulation) kurz dargestellt. Eine detaillierte Darlegung der umfangreichend physiologischen Erkenntnisse findet sich in der einschlägigen Fachliteratur, SCHMIDT und THEWS (1980), KRAMER (1980), LANG (1983), SILBERNAGEL und DESPOPULUS (1983).

3.1.1 Regelmechanismen der Temperaturregulation

Der Mensch gehört zu den homiothermen (= gleichwarmen) Lebewesen. Er kann seine Körpertemperatur auch bei wechselnder Umgebungstemperatur relativ konstant halten. Man muß jedoch eine "poikilotherme (= wechselwarme) Körperschale" von einem "homiothermen Körperkern" trennen.

Außerdem kommt es zu tagesrhythmischen Schwankungen der Körperkerntemperatur. Dies ist durch die periodische Verstellung des aktuellen Körperkerntemperaturwertes (= Sollwert) unter dem Einfluß endogener Führungsgrößen bedingt.

Beim Menschen mißt man eine Schwankung von ca. 1 Grad Celsius mit einem Minimum in den frühen Morgenstunden und einem Maximum in den späten Nachmittagsstunden (Abbildung 1). Die Konstanthaltung der Körperkerntemperatur ist nur möglich, wenn die Wärmebilanz des Körpers ausgeglichen ist. Deshalb müssen Wärmegewinn und Wärmeabgabe einander entsprechen. Es ist die Aufgabe der Temperaturregulation, dies zu gewährleisten.



Abbildung 1: Graphische Darstellung der (rektal gemessenen) Körpertemperatur (in Ruhe) in Abhängigkeit von der Tageszeit
(s. SILBERNAGEL und DESPOPOULOS, 1983)

Zur Erläuterung der Thermoregulation des Menschen wird ein kybernetisches Modell, der sogenannte Regelkreis, benutzt (Abbildung 2). Im Regelkreis der Thermoregulation wird die Körperkerntemperatur als der zu regelnde Wert (= Regelgröße) angesehen. Die augenblickliche Körperkerntemperatur (= Istwert) wird mittels Thermorezeptoren bestimmt und an den Regler weitergeleitet. Obwohl eine Identifizierung dieser Temperaturmeßfühler mit morphologischen Methoden bisher nicht möglich war, kann aufgrund experimenteller Ergebnisse auf die Existenz dieser thermosensitiven Strukturen geschlossen werden.

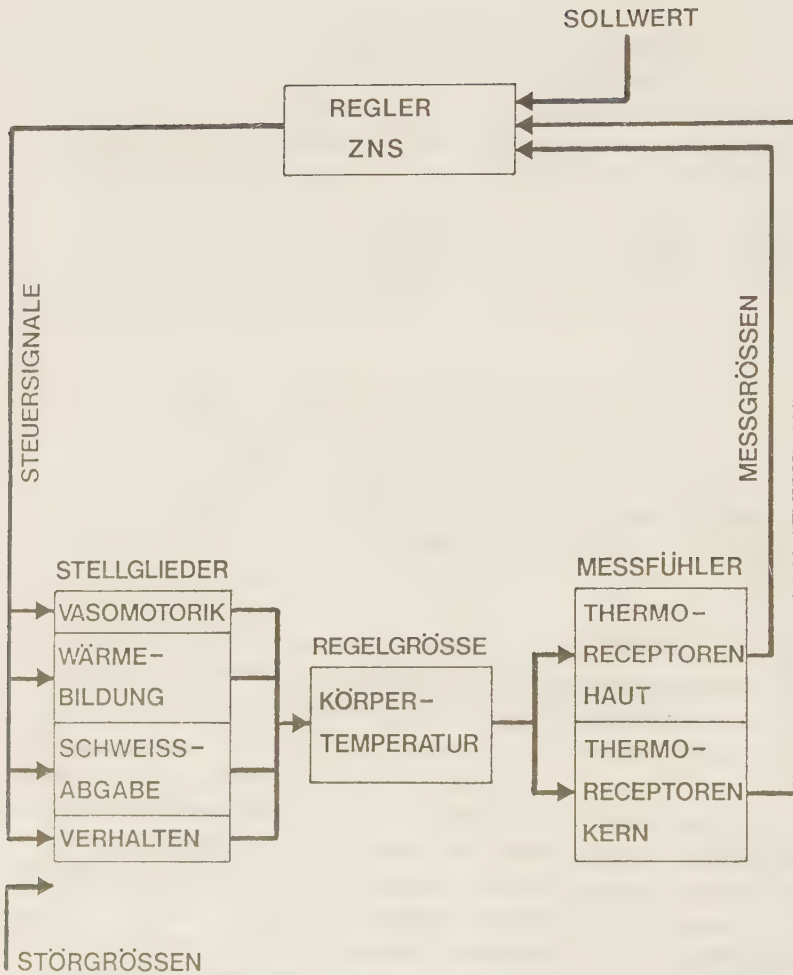


Abbildung 2: Blockschaltbild der Thermoregulation
(SCHMIDT und THEWS, 1980)

Der Regler ist die Koordinationszentrale des Regelkreises, hier erfolgt der Vergleich zwischen Istwert und Sollwert (= normale Körpertemperatur des menschlichen Organismus). Sind Istwert und Sollwert nicht identisch, liegt eine Regelabweichung vor. Zur Korrektur von Regelabweichungen kann der Regler die sogenannten Stellgrößen aktivieren.

Zahlreiche experimentelle Untersuchungen zeigen, daß der Regler, bzw. die regelnden Neuronen beim Menschen im Hypothalamus sitzen. So kommt es beispielsweise bei einer experimentellen Zerstörung des Hypothalamus oder seiner Verbindungen zum unteren Hirnstamm zu einem völligen Verlust der Thermoregulation. Im Gegensatz dazu läßt die Durchtrennung des Hirnstammes unmittelbar rostral (= zum vorderen Körperende hingelen) des Hypothalamus die Thermoregulation intakt, **SCHMIDT und THEWS (1980)**.

Auch die langsame Zerstörung des Hypothalamus durch pathologische Prozesse führt manchmal nur zu geringen Ausfallserscheinungen. So kann bei einer langsam fortschreitenden Zerstörung des Hypothalamus die Temperaturregulation partiell auch in der Medulla oblongata und in dem Rückenmark ablaufen, **KRAMER (1980)**.

Aufgrund der oben angeführten experimentellen Ergebnisse wird die zentralnervöse Temperaturregulation als ein hierarchisch aufgebautes System von Nerven Netzwerken mit partiell eigenständiger Funktion und dem Hypothalamus als übergeordnetes Koordinationszentrum angesehen.

Zur Zeit ist noch nicht genau geklärt, welche Interaktionen bei dem Vergleich des Istwertes mit dem Sollwert und bei der Aktivierung der Stellgrößen im Hypothalamus ablaufen. Es wird jedoch vermutet, daß die Kälte- und Wärmeafferenzen aller Temperaturrezeptoren im Hypothalamus zusammentreffen und über

eine sich gegenseitig hemmende Verschaltung Steuersignale für die Stellgrößen der autonomen Temperaturregulation produzieren. Die Stellgrößen können die Körperkerntemperatur über die Produktion von Stoffwechselwärme (sogenannte chemische Temperaturregulation) oder über die Wärmeabgabe des Organismus (sogenannte physikalische Temperaturregulation) verändern. Beide Mechanismen werden als Stellgrößen der autonomen Thermoregulation zusammengefaßt.

Außerdem können thermoregulatorische Verhaltensweisen (z.B. Luftfächeln, Zusammenkauern des frierenden Menschen) als Stellglieder eingesetzt werden. Die Veränderungen der Stellgrößen werden vom Regler so gesteuert, daß der Istwert möglichst wieder dem Sollwert entspricht. Die Regelabweichung wird somit rückgängig gemacht. Dieses Prinzip der Rückwirkung im Regelkreis wird "negatives Feedback" genannt.

Um zu vermeiden, daß Stellgrößen mit einer entgegengesetzten Wirkung auf die Regelgrößen gleichzeitig aktiviert werden, weisen die verschiedenen Stellgrößen eine unterschiedliche Aktivierungsschwelle auf. Dadurch werden sie nicht alle gleichzeitig, sondern in einer abgestuften Reihenfolge eingesetzt. Auf den Regelkreis wirken äußere und innere Störgrößen ein. Diese Störgrößen können anhand von Änderungen der Wärmeproduktion (z.B. durch Muskelarbeit) oder des Wärmestromes aus dem Organismus (z.B. bei einer Änderung der Umgebungstemperatur) eine Regelabweichung bewirken.

Im Hinblick auf den experimentellen Teil dieser Arbeit ist es notwendig, auf die Stellgrößen der Temperaturregulation beim Menschen einzugehen. Die Steuerung der verschiedenen Stellgrößen erfolgt zum weitaus größten Teil auf nervalem Weg. So kann das motorische Nervensystem über das Kältezittern die Wärmebildung beeinflussen. Außerdem wird der Bewegungsapparat und damit die thermoregulatorischen Verhaltensweisen vom mo-

torischen Nervensystem gesteuert. Das parasympathische System steuert die Aktivität der Befeuchtung der für die respiratorischen Schleimhaut wichtigen Drüsen.

Das sympathische Nervensystem kann sowohl die Wärmebildung als auch die Wärmeabgabe beeinflussen. So wird beim Säugling die zitterfreie Wärmebildung durch adrenerge β -Rezeptoren gesteuert. Der genaue Mechanismus ist noch ungeklärt, aber man vermutet, daß das an den Nervenendigungen freigesetzte Noradrenalin die Freisetzung von freien Fettsäuren als Fettröpfchen und die Fettsäureoxydation stimuliert. Die Wärmeabgabe wird vom sympathischen Nervensystem über die sympathisch cholinerge Innervation der Schweißdrüsen und über die Steuerung der Durchblutung kontrolliert. Die Steuerung der Hautdurchblutung erfolgt über die α -adrenergen Rezeptoren. Sie ist wegen der hohen Isolationskraft der gering durchbluteten Körperschale eine wichtige Stellgröße der Thermoregulation.

Besonders an den stark vaskularisierten und mit zahlreichen arterio-venösen Anastomen versehenen menschlichen Extremitäten und Akren (Finger, Hand, Ohren, Nase, Lippen) hat die Veränderung der Durchblutung als Stellgröße des Wärmetransportes eine große Bedeutung. Dies wird deutlich, wenn man bedenkt, daß die Fingerdurchblutung zwischen 0,2 und über 120 ml/min/100 gr. Gewebe variieren kann. Im Gegensatz dazu kann die Durchblutung der Rumpfhaut sich nur um 2 bis 20 ml/min/100 gr. Gewebe ändern, **KRAMER (1980)**.

Eine Zunahme des sympathischen Tonus bewirkt eine Vasokonstriktion der Arteriolen und der arterio-venösen Anastomosen der distalen Extremitäten. Dadurch wird die Durchblutung in diesem Bereich ganz erheblich reduziert. Infolge der parallelen Anordnung der großen tiefen Extremitätenarterien und Extremitätenvenen schafft die Durchblutungsrosselung in den oberflächlichen Gewebsschichten die Voraussetzung für den

"Gegenstrom-Wärmeaustausch". Das zurückkehrende, abgekühlte, venöse Blut entzieht dem arteriellen Blut aufgrund des Gegenstromsystems Wärme. Durch diesen Wärmekurzschluß wird der Wärmetransport zur Oberfläche vermindert. Eine Abnahme des sympathischen Tonus führt zu einer Vasodilatation der Arteriolen und der arteriovenösen Anastomosen. Es kommt somit einerseits zu einer Steigerung der Durchblutung, andererseits zu einer Verminderung des Wärmekurzschlusses. Diese beiden Mechanismen tragen dazu bei, daß der Wärmetransport zur Körperoberfläche erhöht wird, **LANG (1983)**.

Untersuchungen an denervierten Segmenten von Gefäßen zeigten, daß es unabhängig von den nerval gesteuerten Stellgrößen auch zu einer direkten Reaktion der Gefäße auf Temperatureinwirkungen kommen kann. Die sogenannte Kältevasodilatation gilt als Beispiel für diese lokale Temperaturempfindlichkeit der Gefäßmuskulatur. Hierbei kommt es am Anfang einer starken Kältebelastung (z.B. beim Kälteprovokationstest) zu einer maximalen Vasokonstriktion. Sie ist gekennzeichnet durch Blässe, Kälte der Akren, oft verbunden mit Schmerzen. Im weiteren Verlauf der Kältebelastung erfolgt eine Vasodilatation, erkennbar an einer Rötung und Erwärmung der Akren. Die Kältevasodilatation verhindert die schädlichen Folgen einer lang anhaltenden mangelhaften Gewebedurchblutung. Auf der anderen Seite wird jedoch die Auskühlung des Organismus beschleunigt, **SCHMIDT und THEWS (1980)**.

3.1.2 Temperaturadaptation beim Menschen

Bei der Temperaturregulation gibt es regulatorische Mechanismen (z.B. Steigerung der Wärmebildung, vasomotorische Reaktionen, Schweißsekretion), die innerhalb kürzester Zeit eingesetzt werden. Von diesen sind langfristige Adaptationsmechanismen an veränderte klimatische Umweltbedingungen zu

trennen (= Akklimatisation). Der Akklimatisation liegen tiefgreifende Anpassungsvorgänge des Organismus zugrunde.

Die Hitzeadaptation ist beim Menschen vor allem für den Aufenthalt in heißen Klimazonen von großer Bedeutung. Der wesentlichste Mechanismus, der im Verlauf der Hitzeadaptation eintritt, ist die Anpassung der evaporativen Wärmeabgabe (= Abgabe von Wärme durch Wasserverdunstung). So wird im Verlauf einiger Wochen bis Monate die maximale Schweißsekretion um den Faktor 3 gesteigert, SCHMIDT und THEWS (1980). Gleichzeitig setzt die Schweißsekretion schon bei niedrigeren Körperkerntemperaturen als normal ein. Die Aktivierungsschwelle ist zu tieferen Temperaturen hin verschoben.

Diese Mechanismen dienen der Vermeidung eines Hitzekollaps, da sie die mittlere Körpertemperatur bei der gegebenen Hitzebelastung auf niedrige Werte einstellen. So wird der Organismus vor einem kritischen Ansteigen der Herzfrequenz und der peripheren Durchblutung bewahrt. Außerdem wird der Mineralgehalt des Schweißes im Verlauf der Akklimatisation an Hitze beträchtlich gesenkt und der Salzverlust dadurch reduziert. Die Gefahr eines durch Elektrolytverlust bedingten Kollapses wird somit reduziert. Der an Hitze akklimatisierte Mensch vermag ökonomischer zu schwitzen. Gesteigertes Durstempfinden trägt dazu bei, die Wasserbilanz voll auszugleichen.

Die Anpassungserscheinungen des Menschen an Kälte sind noch relativ wenig erforscht. Durch Untersuchungen an Eingeborenen, die unter extremer Klimabelastung leben, konnten zwei verschiedene Mechanismen der Kälteadaptation beim Menschen nachgewiesen werden. Bei der hypothermen Adaptation (= Toleranzadaptation) wird die Wärmeabgabe auf ein Minimum reduziert. Es kommt zu einem Absinken der Körperkerntemperatur, ohne daß die metabolische Wärmeproduktion erhöht wird. Dieses Verhalten wurde bei australischen Eingeborenen beobachtet,

die bei Temperaturen nahe dem Gefrierpunkt fast unbedeckt im Freien übernachten, ohne zu zittern.

Der andere Mechanismus besteht in einer metabolischen Adaptation. Es kommt zu einer Erhöhung des Grundumsatzes. Die innere Wärmebildung wird gesteigert, was auch bei starker Abkühlung eine normale Körperkerntemperatur gewährleistet. Für diese Form der Kälteadaptation ist eine hohe Kalorienzufuhr durch Nahrung nötig. Bei Eskimos und Alacaluf-Indianern wurde diese metabolische Anpassung beobachtet, SCHMIDT und THEWS (1980).

An diesen Adaptationsformen gemessen, ist die Kälteadaptation des zivilisierten Menschen eher bescheiden. So kommt es infolge der Kältevasodilatation zu einer vermehrten Durchblutung der Akren. Diese lokale Adaptation schützt den Organismus besser vor Erfrierungen.

3.2 Ätiologie und Pathogenese des Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndroms (VVS)

Der Begriff des Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndroms wurde von KLOSTERKÖTTER (1974) geprägt. Dieser Bezeichnung soll im weiteren Verlauf dieser Arbeit gefolgt werden.

Synonyme Begriffe anderer Autoren sind: "Vibrations induced white fingers (VIF)", BANISTER und SMITH (1972), "Traumatic vasospastic disease (TVD)", PYYKKÖ (1973), sekundäres Raynaud Phänomen. Im Volksmund wird das Krankheitsbild auch als "Weißfingerkrankheit" oder "Totenfinger" bezeichnet.

Zur Ätiologie des VVS gibt es nur hypothetische Vorstellungen. Es werden jedoch mehrere Belastungsfaktoren als ursächlich bedeutsam diskutiert. So konnten CHANG (1976), HELLSTRÖM

(1970), KOTANI (1976) und IWATA (1974) mit dem Kälteprovokationstest bei Vibrationsexponierten ein dem "VVS" ähnliches Phänomen hervorrufen. Dies zeigt einmal den Einfluß des Kältereizes bei der Entstehung der Krankheit, zum anderen wird die Bedeutung der Vibration unterstrichen.

Der Einfluß von Schwingungsbelastung wurde unter anderem von DUPUIS und WEICHENRIEDER (1977) erforscht. Sie stellten fest, daß eine Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems (z.B. Motorsägenarbeit) Veränderungen der Durchblutung im Sinne einer Durchblutungs-drosselung hervorruft. Nach Untersuchungen von DUPUIS et al. (1976), WEICHENRIEDER (1977), HELLSTRÖM und LANGE-ANDERSON (1972) führt die Ausübung statischer Kräfte auch ohne Schwingungsbelastung zur Durchblutungsverminderung. Die Entstehung des VVS wird vermutlich dadurch gefördert.

Ob Lärm als weiterer Belastungsfaktor bei der Entstehung des VVS eine Rolle spielt, ist umstritten, kann aber nicht ausgeschlossen werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die langjährige intensive Schwingungsexposition zur Zeit als ätiologisch wichtigster Faktor des VVS diskutiert wird. Aber auch die anderen oben genannten Belastungsfaktoren tragen zur Entstehung des VVS bei. Dies wird durch ihren Einfluß auf die akute periphere Zirkulation erklärt.

Auch über die Pathogenese des VVS liegen keine eindeutigen Forschungsergebnisse vor. Im Folgenden sollen die wichtigsten hypothetischen Vorstellungen zur Pathogenese des Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndroms kurz dargestellt werden.

Nach ASHE, COOK und OLD (1962), SIVERTSSON und LJUNG (1976) und PYKKÖÖ und HYVÄRINEN (1973) kommt es durch wiederholten Vibrations- und Kältereiz zur Hypertrophie der muskulären Schicht der Gefäßwand. Aufgrund einer Vasokonstriktion dieser

Gefäße stellt sich eine stärkere Verengung des Gefäßvolumens ein, was eine Verminderung der Durchblutung zur Folge hat. Außerdem ist die Reizschwelle zur Auslösung einer vasospastischen Reaktion erniedrigt.

PELLEGRINI et al. (1968) stellten bei vibrationsexponierten Personen Veränderungen an den arterio-venösen Anastomosen der distalen Fingerabschnitte fest. Es wurden Einlagerungen von sklerotischem Material in der Gefäßwand der arterio-venösen Anastomosen gefunden. Die Autoren folgerten daraus, daß bei einer allgemeinen Gefäßkontraktion kein Verschluß dieser Shunts (= Verbindung) erfolgen kann. Das Blut fließt somit über die Shunts ab. Es kommt zu einer Minderperfusion der Gebiete, die hinter den arterio-venösen Anastomosen liegen, wodurch das VVS ausgelöst wird. Nach **HORVATH et al. (1970)** bewirken die durch Vibrationsreize hervorgerufenen Vasospasmen eine Erhöhung des intravasalen Druckes, was die Ausbildung von arterio-venösen Anastomosen begünstigt. Die Folge ist eine periphere Ischämie. Die Untersucher stellten bei vibrationsexponierten Personen zusätzlich zu einer vermehrten Shuntbildung am Unterarm und in den Handtellern eine auffallend oft vorkommende Anomalie des Arcus palmaris superficialis fest.

Nach **STEWART und GODA (1970)** führt das Vibrationsbedingte Vasospastische Syndrom zur Kallusbildung in Cutis und Subcutis. Es kommt zu einer räumlichen Einschränkung der Kapillaren und dadurch zu einer Durchblutungsstörung.

Andere Autoren halten eine Degenerationsveränderung der peripheren Nervenendigungen und Nerven für pathogenetisch ausschlaggebend. So fanden **ARAKI et al. (1976)** und **SEPPÄLÄINEN (1970)** eine Verlangsamung der Nervenleitgeschwindigkeit des Nervus medianus bei am Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndrom Erkrankten. Sie vermuteten, daß die Vibrationsbela-

stung zu einer Schädigung des Myelins der Schwann'schen Scheide der peripheren Nerven führt.

Weitere quantifizierbare Störungen des peripheren Nervensystems bei VVS sind eine Abnahme der Schwingungsempfindung und eine herabgesetzte thermische Wahrnehmung der Finger. Diese Störungen konnten **RAFALSKI et al. (1977)** und **CROSETT et al. (1974)** experimentell nachweisen. **MAGOS und OKOS (1963)** sind der Ansicht, daß das Vibrationsbedingte Vasospastische Syndrom sowohl auf einer traumatischen Störung der Gefäßwand als auch auf einer Degeneration der Fingernervenendigungen beruht. Auch zentralnervöse Störungen, als Folge von Vibrationsbelastung, werden von manchen Autoren (**MATOKA, 1975**) als mitverantwortlich für das VVS angesehen.

Auch eine immunologische Genese des Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndroms wird diskutiert. So konnte **LANGAUER-LEWOWICKA (1976)** bei an VVS erkrankten Personen einen erhöhten Gehalt an Beta-Globulinen, Gamma-Globulinen und Antiglobulin-Antikörpern nachweisen. Die erkrankten Versuchspersonen zeigten im Vergleich zu der Kontrollgruppe auch häufiger eine positive Kälte-Agglutinationsreaktion. Im fortgeschrittenen Stadium des VVS konnte eine signifikante Erhöhung der IgG-Immun-Globuline festgestellt werden.

Die oben angeführten pathogenetischen Vorstellungen werden zur Hypothese zusammengefaßt, daß "vibrationsbedingte morphologische und funktionelle Veränderungen, sowohl der Gefäße als auch des peripheren Nervensystems zusammen zu den Symptomen des VVS führen" (**DUPUIS, 1985**).

Obwohl die verschiedenen Autoren teilweise recht unterschiedliche Ansichten über die Pathogenese des VVS haben, geben alle die gleichen Symptome an. Dieser Symptomenkomplex besteht aus lividen Verfärbungen und Gefühlsstörungen der Hände. Die

Gefühlsstörungen äußern sich zumeist in Form von Taubheitsgefühlen, bzw. verminderten sensiblen Empfindungen.

Außerdem kommt es zu Vasospasmen, die von distal nach proximal (von der Peripherie zum körpernahen Teil der Hand) verlaufen. Diese Vasospasmen führen zu weiß- oder wachsfarbenen Veränderungen der Haut. Aufgrund dieser verschiedenen Symptome ist es möglich, das VVS je nach Schweregrad in verschiedene Stadien zu unterteilen. Die wohl gebräuchlichste Einteilung in Krankheitsstadien unterteilt die Erkrankung nach **TAYLOR (1974, 1977)** in die Stadien 0 bis 4 (Tabelle 1).

Das VVS ist nach dem heutigen Kenntnisstand zumeist reversibel. Die Aufgabe der Vibrationsexposition ist Grundvoraussetzung für die Rückbildung der Krankheit, aber auch dann kann es Jahre dauern, bis die Symptome verschwinden.

3.3 Der Kälteprovokationstest (KPT) im Fachschrifttum

Der Kältereiz wird als wichtiger Auslöser einer vasospastischen Reaktion angesehen. Aus diesem Grund ist es nicht verwunderlich, daß der Kälteprovokationstest (KPT) sehr häufig als diagnostisches Verfahren beim Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndrom VVS angewendet wird. Das Literaturstudium zeigt jedoch, daß der KPT zur Diagnose des VVS ein keineswegs unumstrittenes Verfahren ist. So wurde der KPT in der Bundesrepublik Deutschland zur Diagnose des VVS bisher nur selten angewendet.

Anhand von Untersuchungen an Arbeitern einer Schuhfabrik stellten **MAYER-BRODNITZ und WOLLHEIM (1929)** bei diesen Arbeitern eine gesteigerte Bereitschaft zur Kontraktion der Endkapillaren fest. Diese Kapillarfunktionsstörung konnte sowohl durch eine Kälteprovokation (KP) als auch durch mechanische

Tabelle 1: Symptome und Beeinträchtigungen durch das Vibrationsbedingte Vasospastische Syndrom VVS während verschiedener Krankheitsstadien
- TAYLOR (1974), TAYLOR et al. (1977) -

STADIEN	MERKMALE / SYMPTOME	BEEINTRÄCHTIGUNGEN
0	kein Weißwerden der Finger	keine
0 _T	gelegentliches Prickeln in den Fingerspitzen	keine Arbeitsbehinderung
0 _N	gelegentliche Taubheitsempfindung in den Fingerspitzen	keine Arbeitsbehinderung
1	Weißwerden einer oder mehrerer Fingerspitzen mit oder ohne Prickeln und Taubheit	keine Arbeitsbehinderung
2	Weißwerden eines oder mehrerer ganzer Finger mit Taubheit, auf die Winterzeit beschränkt	Leichte Beeinträchtigung im privaten und sozialen Bereich. Leichte Arbeitsbehinderung
3	Umfassendes Weißwerden der Finger meist beider Hände. Häufige Attacken sowohl im Winter als auch im Sommer	Starke Beeinträchtigung bei der Arbeit, im privaten und sozialen Bereich (Hobbies)
4	Symptome wie bei 3, jedoch stärker und häufiger	Beschwerden werden nicht mehr toleriert. Sehr starke Beeinträchtigung. Erfordert Wechsel der Beschäftigung

Reize (leichtes Streichen mit dem Holzspatel, Kompression der Arteria radialis) diagnostiziert werden. **JANCIK (1973)** untersuchte 7 Arbeiter, die anamnestisch über Beschwerden an den Händen (z.B. Kribbeln, Taubheitsgefühle) klagten. Bei 6 von 7 Arbeitern konnte er durch Anwendung einer Kälteprovokation mit nachfolgender Hauttemperaturmessung die Durchblutungsstörungen objektivieren.

Nach **VOLTZ (1980)** ist der KPT eine wichtige Untersuchungsmethode zum diagnostischen Nachweis des Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndroms. In einer experimentellen Studie an Motorsägeführern untersuchte **WOELKE-SEIDL (1984)** den Verlauf der Wiedererwärmung der Finger nach Kälteexposition. Aufgrund ihrer Ergebnisse empfiehlt sie, den KPT zur objektiven Diagnose des VVS heranzuziehen.

Im Gegensatz dazu hat sich bei **SCHROETER (1981)** die Messung der Wiedererwärmungszeit im Anschluß an eine Kälteprovokation nicht bewährt. Er konnte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Motorsägeführern mit und ohne VVS feststellen. Auch **KNIEB (1981)** fand nach Kältebelastung und nachfolgender 10minütiger Fingertemperaturmessung keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Wiedererwärmungszeit der Finger und dem Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndrom.

Im Ausland, besonders in Japan und Skandinavien, kommt dem KPT bei der Diagnose des VVS meist eine wesentliche Bedeutung zu. So konnten **NIELSEN und OLSEN (1980)** zwar bei 10 Versuchspersonen mit VVS nur bei zweien mittels KPT eine vasospastische Attacke auslösen. Es zeigte sich jedoch, daß die Fingerarterien nach der Kälteprovokation (KP) in Bezug auf ihren systolischen Blutdruck pathologisch reagieren. Dies konnte von **OLSEN et al. (1980, 1982)** an einer größeren Anzahl von Versuchspersonen bestätigt werden. Aus diesem Grund halten die Autoren den Kälteprovokationstest mit Kontrolle des

systolischen Blutdruckes der Fingerarterien für eine geeignete Methode zur Diagnose des VVS, sogar im Anfangsstadium der Erkrankung.

Auch **BRUBAKER et al. (1983)** verließ sich bei seinen Untersuchungen nicht allein auf den KPT. Anhand von Fingertemperaturkontrollen nach der Kälteprovokation wies er bei 72 % der an VVS erkrankten Versuchspersonen eine verzögerte Wiedererwärmung der Finger nach. Die Autoren **GORSKI und FIBIGER (1979)** und **CHANG (1976)** empfehlen ebenfalls die Fingertemperaturmessung im Anschluß an den Kälteprovokationstest, als physiologischen Parameter zur Diagnose des VVS.

Nach **LIDSTRÖM (1974)** kann der KPT vor allem in Verbindung mit Hauttemperaturmessungen, Fingerplethysmographie und Kapillaroskopie zur Diagnose des VVS angewendet werden. **ITOH et al. (1977)**, **SAITO et al. (1980)**, **SHIOMI et al. (1980)** und andere benutzten zusätzlich den Nageldrucktest. Von **AGATA (1949)** wird der KPT als eine einfach durchzuführende Methode mit geringem Zeitaufwand, die auch in Erste Hilfe Stationen von Fabriken durchgeführt werden kann, beschrieben. In Untersuchungen von **SUZUKI et al. (1982)** bei 9 gesunden Männern, **SHIOMI et al. (1980)** bei Motorsägeführern, **MATSUMOTO et al. (1982)** bei Briefträgern, wurde der Kälteprovokationstest als geeignet zur Diagnose des VVS befunden.

Aber auch im Ausland gibt es unterschiedliche Meinungen über den KPT: So sieht **CHIANG (1979)** in dem KPT eine gute zusätzliche Methode, aber kein primäres Screening-Verfahren. **VESTBO und MOUSTEN (1983)** halten den KPT mit Fingertemperaturkontrolle erst nach einer Weiterentwicklung eventuell für geeignet zur Diagnose des VVS. Bei einer Untersuchung an Waldarbeitern fanden **HELLSTRÖM et al. (1970)** keine Unterschiede in der Reaktion auf den Kälteprovokationstest mit Fingertemperaturmessung zwischen anamnestic als betroffen deklarierten Fingern und solchen ohne Symptome. Auch **SAITO et al. (1980)**

räumen dem KPT in Verbindung mit der Prüfung des Vibrations- und Schmerzsinnes keine große Rolle bei der Diagnose des VVS ein.

Auf den ersten Blick sind die verschiedenen Ergebnisse der einzelnen Autoren sehr widersprüchlich. Die Tabelle 2 zeigt jedoch, daß auch die Untersuchungsbedingungen für den KPT bei den verschiedenen Autoren große Variationen aufweisen. So finden sich vor allem in Bezug auf die Dauer (5 sec. bis 30 min.) und die Temperatur (0 bis 15°C) der Kälteprovokation zwischen den einzelnen Untersuchern große Unterschiede.

Meist wird mit Kaltwasserbädern provoziert. In anderen Studien verwendet man zur Abkühlung Kaltluft oder Eisstücke. Nach **CHIANG (1979)** können verschiedene Arten der Kälteprovokation (Luft oder H₂O) trotz derselben Kältestimulation zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Auch im Ausmaß der Exposition der Körperteile unterscheiden sich die Untersuchungen. So wird je nach Untersucher ein Finger einer Hand, eine Hand, beide Hände bis zum Handgelenk oder Ellenbogen der Kälteprovokation ausgesetzt. Nur selten wird wie bei **HELLSTRÖM et al. (1970)** der ganze Körper dem Kältereiz ausgesetzt und während der letzten 15 Minuten dieser Ganzkörperkälteprovokation die rechte Hand in eine Klimakammer gesteckt. Es muß außerdem angemerkt werden, daß im Schrifttum häufig Angaben über wichtige Versuchsbedingungen fehlen. So ist es wichtig zu wissen, bei welcher Raumtemperatur die Untersuchung erfolgt, da nach **SUZUKI et al. (1981)** die Raumtemperatur die Ergebnisse der Messung beeinflussen kann.

HARADA et al. (1983) stellten fest, daß der Tonus der glatten Muskulatur der Hautgefäße während der verschiedenen Jahreszeiten unterschiedlich groß ist. Daher ist es wichtig, die Jahreszeit, in der der Test erfolgt, anzugeben. Angaben über

Tabelle 2: Untersuchungsbedingungen für Kalteprovokationstest KPT - DUPUIS (1982) -

Autor	vor KPT	während KPT	nach KPT Temperatur- messungen nach je/bis zu	Diagnostische Aussage 'Normal' 'Pathologisch' Wiedererwärmungszeit bis zur Ausgangstemperatur
MEYER-BRODNITZ und WOLLHEIM (1929)		Eisstück in Hand	1-2min	
CHIANG WU YING (1979)	18-22° Umgebungstemp.	Eiswasser 0°	0,5min	30min
BOVENZI (1980)	21° Umgebungstemp.	bis Handgelenk in Eis	2min	3min
LAROCHE (1976)	2min Fingertemp. messen	2°	5sec	1min
FUTATSUKA et al. (1980)		5°	10min	15min
CHUDACEK (1977)		8-12°	2min	5min
OKADA (1980)		5/10°	10min	10min
WOELKE-SEIDL (1982)		10°	5min	45min
SCHROETER (1981)	a) 20° Raumt. Anpassung b) 5min Warmbad 37°	12°	5min	keine sign. Differenzen!
KAPPERT (1971)	5min Warmbad 39°	12°	1min	20min
VOLTZ (1980)		12°	5min	30min
KNIEB (1981)	1min Vibrationstest	12°	2min	verzög. Erwärmung
BUCHANCOVA (1980)	20-22° Umgebungstemp.	12-15°	1min	
HYVARINEN et al. (1973)	24-25° Umgebungstemp. freier Oberkörper	13-15°	10min	
PYYKKO (1974)	20° Umgebungstemp.	13-15° (Arm bis Schulter)	15min	weißer Finger 1min
PYYKKO u. HYVARINEN (1973)	24-25° Umgebungstemp. freier Oberkörper	15°	15min	
AGATE u. DRUETT (1947) ; ABRAHAMMS (1967)		15° (g. Körper/ Arm u. Rücken)	10min	weißer Finger 0,5min

die Ausgangstemperatur der Finger sind von Bedeutung, weil laut **CHIANG (1979)** und **SCHÖBERL (1986)** ein signifikanter Zusammenhang zwischen Fingerausgangstemperatur und der vasomotorischen Reaktion der Finger auf die Kälteprovokation besteht.

Weiter ist zu berücksichtigen, ob und wie lange vor der Kälteprovokation eine Klimadaptation des Körpers an die "standardisierte" Umgebung stattfindet. Die Versuchsbeschreibung sollte außerdem enthalten, ob nur die Hand, der Arm oder der ganze Körper der Kältebelastung ausgesetzt ist und wie lange und in welchen Zeitabständen nach dem Kälteprovokationstest die Fingertemperatur gemessen wird. Auch sollte bekannt sein, wie, wann und an welchen Stellen die Fingertemperatur kontrolliert wird.

Aus der Studie von **MATOKA et al. (1977)** geht hervor, daß Medikamente (d-alpha-Tocopheryl-Nicotinate) einen Einfluß auf den Verlauf und die Ergebnisse des KPT haben, deshalb ist es zu empfehlen, vor Versuchsbeginn anamnestisch zu klären, ob die Versuchsperson Arzneimittel bzw. Drogen einnimmt. Bei der Ergebnisdarstellung wird oft versäumt, genauere Angaben über die Differenzierungskriterien zu machen, die den Befunden "normal" gegenüber "pathologisch" zu Grunde liegen. Meist beschränkt man sich mit Aussagen wie: "nach dem KPT fanden sich in der untersuchten exponierten Personengruppe noch ... % mit einem VVS" (**DUPUIS, 1982**).

Die epidemiologische Auswertung der verschiedenen Untersuchungsergebnisse ist durch die zahlreichen Variationen der Versuchsbedingungen und die Uneinheitlichkeit der Kriterien, wann ein Befund als "pathologisch" und wann als "normal" zu bewerten ist, erheblich erschwert. Aus diesem Grund werden international immer größere Anstrengungen unternommen, den KPT und die Kriterien für die Diagnose des VVS zu vereinheitlichen. So empfiehlt **DUPUIS (1986)** unter Berücksichtigung der

oben angeführten Untersuchungen von SUZUKI et al. (1981), HARADA et al. (1983), CHIANG (1979) und WOELKE-SEIDL (1984) die Versuchsdurchführung nur in der kalten Jahreszeit und mit einer Kälteexposition aller Finger vorzunehmen. Zur Kälteprovokation kann ein Wasserbad (2 min., 12-15°C) verwendet werden. Versuche von SAKAKIBARA et al. (1982) ergaben, daß eine niedrigere Temperatur des Wasserbades und eine längere Zeitdauer der Kälteprovokation (KP) zu Kreislaufstörungen führen können und somit für die Versuchspersonen (VPn) nicht zumutbar sind.

Als indirekter Parameter zur Bestimmung der peripheren Durchblutung wird die Fingertemperaturmessung mittels Fingerkuppen-Thermometrie (FKT) oder Infrarot-Thermographie (IRT) durchgeführt. Mit Hilfe dieser beiden Verfahren läßt sich der Temperaturverlauf der Finger dokumentieren.

Zur Beurteilung der Meßergebnisse des KPT wird eine Unterteilung in 3 Gruppen unterschiedlicher Reaktionen empfohlen.

N = Normale Reaktion

Es kommt zu einer raschen Wiedererwärmung der Fingerkuppen, wodurch innerhalb von 15 Minuten nach Beginn des KPT alle Finger eine Temperatur von > 28°C erreicht haben.

mV = mäßig verzögerte Wiedererwärmung

Die Fingerkuppentemperatur hat innerhalb der 16. bis zur 30. Minute nach Beginn des KPT für alle Finger die 28°C-Grenze überschritten.

sV = stark verzögerte Wiedererwärmung

Die Fingerkuppentemperaturen der 10 Finger einer Versuchsperson können während der 30minütigen Messung die 28°C-Schwelle

nicht überschreiten. Bei den Versuchspersonen, die dieser Gruppe zugeordnet werden, ist der Verdacht auf eine Störung der Gefäßfunktion gegeben.

3.4 Die Infrarot-Thermographie (IRT) als diagnostisches Verfahren

Auf dem Gebiet der Medizin wurde die Infrarot-Thermographie erstmals 1957 von **LAWSON** zu diagnostischen Zwecken beim Mammakarzinom angewendet. Heute findet die IRT vor allem bei der Früherkennung des Mammakarzinoms und bei der Diagnose von peripheren Gefäßerkrankungen Verwendung. Als weitere Anwendungsgebiete werden die Diagnostik maligner Melanome und Knochenmetastasen, Frakturen, die Lokalisation der Plazenta, Arthritiden, örtliche Infektionen und Osteomyelitiden sowie Verbrennungen und Hauttransplantationen angegeben. Nach **BOAS (1964)**, **COSH und RING (1967)**, **GROS et al. (1968)**, **HABERMANN et al. (1968)**, **GEERLING (1975)**, **VIITANEN und LAARKSONEN (1970)**, **TISELIUS (1969)** sowie **KOOB und SCHLEGEL (1971)** ist die Infrarot-Thermographie als diagnostisches Verfahren zur Bewertung des Aktivitätsgrades und zur Kontrolle des Behandlungsverlaufes bei Erkrankungen des rheumatischen Formkreises gut geeignet.

Die Infrarot-Thermographie registriert die Wärmeabstrahlung der Körperoberfläche und zieht daraus Rückschlüsse auf die Körpertemperatur. Da aufgrund der Untersuchungen von **ELLIS (1964)** und **KROEBEL und VANSELOW (1959, 1961)** die abstrahlende Schicht der Haut im Durchschnitt nur bis in das erste Drittel des Koriums reicht, kann die IRT pathologische Prozesse primär nur in diesem Bereich nachweisen. Tierexperimentelle Versuche von **FISCHER (1976)** ergaben, daß ein wärmeerzeugender Vorgang von über 3 cm unter der Hautoberfläche möglicherweise mittels der IRT nicht mehr exakt darzustellen ist.

Tiefergelegene Prozesse können von der Infrarot-Thermographie, sofern sie zu einer Veränderung der Hauttemperatur führen, sekundär erfaßt werden. Anhand der oben angeführten Versuchsergebnisse ist es nicht verwunderlich, daß die IRT vor allem bei Erkrankungen, die Veränderungen innerhalb oberflächlicher Körperregionen hervorrufen, eindrucksvolle Ergebnisse liefert. Das Wärmebild der Hand ist mit Hilfe der IRT besonders gut darstellbar, da nach **KOOB (1971)** der Wärmetransport innerhalb der Hautregion infolge der dünnen Schicht von Muskulatur und Fettgewebe relativ direkt erfolgt. Aus diesem Grund kann die Infrarot-Thermographie bei allen pathologischen Prozessen, die zu einer Veränderung des normalen Wärmebildes der Hand führen, als diagnostisches Verfahren eingesetzt werden.

4. Experimenteller Teil

4.1 Methodik

4.1.1 Versuchspersonen

Die Untersuchungen erfolgten ausschließlich an männlichen nicht schwingungsbelasteten Versuchspersonen (VPn), da das Vibrationsbedingte Vasospastische Syndrom (VVS) hauptsächlich Männer betrifft. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß die Berufe mit stark und lang andauernder Vibrationsexposition zum weitaus größten Teil von Männern ausgeübt werden.

Für die Versuche hatten sich insgesamt 9 Schüler und Studenten freiwillig zur Verfügung gestellt. Das Alter der Versuchspersonen lag zwischen 18 und 28 Jahren, bei einem Durchschnittsalter von $23,8 \pm 2,9$ Jahren. Aufgrund der Anamneseerhebungen konnte eine Erkrankung der Versuchspersonen am VVS ausgeschlossen werden.

4.1.2 Versuchskonzeption

Um aufgrund der Untersuchungsergebnisse Aussagen über die intraindividuellen Schwankungen der Versuchspersonen machen zu können, wurden pro Versuchsperson 8 Wiederholungen der Kälteprovokation mit Fingertemperaturmessungen an verschiedenen Tagen durchgeführt. Eine Überprüfung der Versuchsergebnisse mittels Wahrscheinlichkeitspapier zeigte, daß das temperaturregulatorische Verhalten der meisten Versuchspersonen in etwa einer Normalverteilung folgt. Aus diesem Grund konnten die Temperaturmittelwerte und ihre Standardabweichungen sowie der Vertrauensbereich der Versuchsergebnisse als Parameter für die intraindividuellen Schwankungen herangezogen

werden. Sie errechneten sich aus den 8 Einzelmessungen für die 10 Finger der jeweiligen Versuchsperson. Für den Vertrauensbereich wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % gewählt, das heißt, daß der wahre Mittelwert für die jeweilige Versuchsperson mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % in dem Bereich zwischen der unteren und der oberen Grenze des Vertrauensbereiches liegt. Die Auswertung der Versuchsergebnisse in Bezug auf die Temperaturmittelwerte, Standardabweichungen und Vertrauensbereiche erfolgte bei den 9 Versuchspersonen für die 0., die 3., und 4. Minute und von da an in 2minütigen Abständen bis zum Versuchsende.

Damit sowohl ein intraindividueller als auch ein interindividueller Vergleich der Ergebnisse vorgenommen werden konnte, mußten die Versuchsbedingungen und die Versuchsdurchführung streng standardisiert werden. Die Versuche wurden in geschlossenen und weitgehend lärmfreien Räumen des Institutes für Arbeits- und Sozialmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz durchgeführt. Dadurch konnte eine Beeinflussung der Experimente durch Lärm oder hohe Windgeschwindigkeiten ausgeschlossen werden. Da die Körpertemperatur einem circadianen Rhythmus unterliegt, fanden die Experimente immer zwischen 9 und 18 Uhr statt. In dieser Zeitperiode schwankt die Körpertemperatur nur um etwa $0,3^{\circ}\text{C}$ (Abbildung 1).

Untersuchungen von **HARADA et al. (1983)** ergaben, daß der Tonus der Vasokonstriktoren in Abhängigkeit von der Jahreszeit verschieden großen Schwankungen unterliegt, wobei er jedoch in den Wintermonaten über relativ lange Zeit stabil ist. Aus diesem Grund wurden die Untersuchungen im November, Dezember und Januar durchgeführt. Die Raumtemperatur lag zwischen 20 und 23°C und folgte damit ebenfalls der Empfehlung von **HARADA et al. (1983)**.

Vor Beginn des Kälteprovokationstestes wurden die Ausgangstemperaturen (T_{HO}) für die Finger der jeweiligen Versuchspersonen bestimmt, da laut **CHIANG (1979)** und **SCHÖBERL (1986)** ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Fingerausgangstemperatur und den Fingertemperaturverläufen nach dem Kälteprovokationstest besteht.

Bei jedem Versuch erfolgte eine ca. 20minütige Adaptation der Versuchspersonen an die Raumtemperatur (T_R). Danach wurden die Versuchspersonen (VPn) einer 1minütigen Kälteprovokation (KP) in einem 15°C kalten Wasserbad unterzogen. Die Messung der Fingerkuppentemperatur wurde bis zur 30. Minute nach Beginn der Kälteprovokation durchgeführt.

Insgesamt dauerte jeder Versuch etwa 50 Minuten. Die Temperaturverläufe der Fingerkuppen nach der Kälteprovokation wurden je zu Hälfte mit der Infrarot-Thermographie und der Fingerkuppen-Thermometrie gemessen. Bei einer der 9 Versuchspersonen (VP 5) wurden die Temperaturverläufe der Fingerkuppen sowohl mit der Infrarot-Thermographie als auch mit der Fingerkuppen-Thermometrie gemessen. Dies geschah, um die Übereinstimmung zwischen den beiden Verfahren zu kontrollieren.

Alle Versuchspersonen wurden vor Beginn der Versuchsserie über den Zweck und die Durchführungsweise der Untersuchungen gründlich informiert. Insbesondere wurde ihnen nahegelegt, am Tag der Untersuchung vom Aufstehen bis zum Versuchsende keinen Alkohol, keine Tabletten und keinen Kaffee zu sich zu nehmen und auch nicht zu rauchen.

4.1.3 Diagnostische Verfahren

4.1.3.1 Der Kälteprovokationstest (KPT)

Die Festlegung der Versuchsbedingungen zur Durchführung des Kälteprovokationstestes erfolgte unter Berücksichtigung der Ergebnisse und Erfahrungen verschiedener Experimentatoren mit dem Kälteprovokationstest. Zur Kälteprovokation wurde ein Wasserbad mit der Temperatur von 15°C verwendet. Nach **CHANG (1976)** und **DUPUIS (1986)** sind Temperaturen in niedrigen Bereichen (5 - 11°C) für die Versuchspersonen nicht zumutbar, da sie sehr schmerzhaft sind und unter Umständen sogar zu schweren Kreislaufstörungen bis hin zum Kreislaufkollaps führen können.

Die Expositionsdauer ist mit 1 Minute so gewählt, daß sie zum einen noch eine genügend große Reizwirkung hat und zum anderen der Versuchsperson zuzumuten ist. Für die Kälteprovokation wurde ein Plastikbecken mit einem Füllungsvolumen von 20 Litern verwendet. Ein thermostatischer Regler zur Konstanthaltung der Wassertemperatur wurde nicht benötigt, da es bei einer Wassertemperatur von 15°C, der Expositionszeit von 1 Minute, einem Wasservolumen von 20 Litern und einer durchschnittlichen Ausgangstemperatur der Hände von ca. 31°C zu keinem wesentlichen Anstieg der Wassertemperatur während der Kälteprovokation kommt. Die Wassertemperatur (T_w) wurde mit geeichten Laborthermometern kontrolliert.

4.1.3.2 Die Fingerkuppen-Thermometrie (FKT)

Die Fingerkuppen-Thermometrie ist im Vergleich zur Infrarot-Thermographie ein einfacheres und billigeres Verfahren (Abbildungen 3 und 4). Bei diesem Verfahren werden mit Hilfe von Thermofühlern der Firma TECHNOTHERM die Fingerkuppentemperaturen aller 10 Finger gemessen. Zur Befestigung der Thermo-

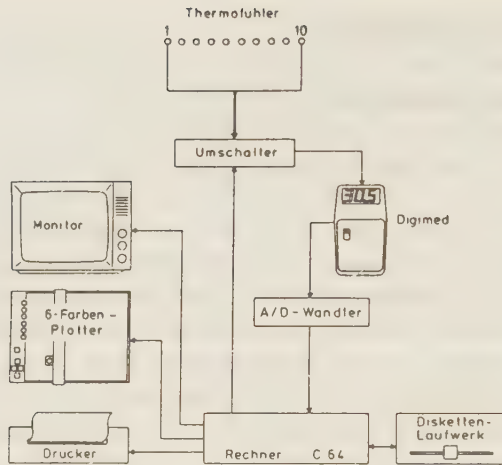


Abbildung 3: Blockschaltbild der Fingerkuppen-Thermometrie (FKT)

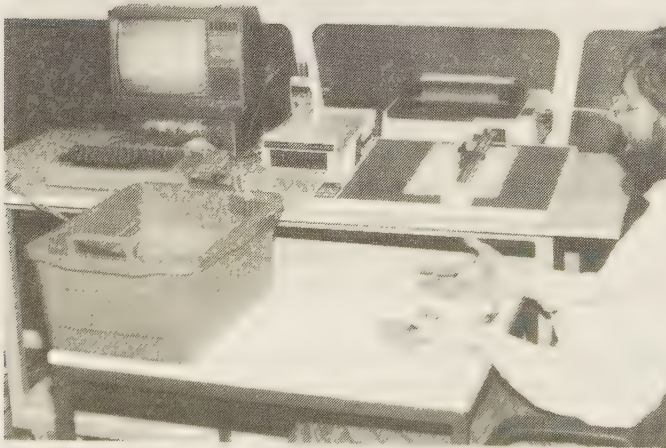


Abbildung 4: Versuchsaufbau der Fingerkuppen-Thermometrie (FKT)

fühler an den Fingerkuppen wurde Sekundenkleber verwendet. Bei den Thermofühlern handelt es sich um Widerstände, die sich in Abhängigkeit von der Temperatur verändern, d.h., jede Änderung des elektrischen Widerstandswertes entspricht einer proportionalen Temperaturänderung. Durch einen automatischen Umschalter werden diese Widerstandswerte einem elektronischen Thermometer DIGIMED mit Analog-Ausgang zugeschaltet. Über einen A/D Wandler lassen sich die so ermittelten Änderungen der Widerstände auf einen Rechner CBM 64 übertragen. Zur Berücksichtigung der Kennlinien der einzelnen Thermofühler wurde für jeden Thermofühler eine Kalibrierung durchgeführt und im Rechner gespeichert.

Die Temperaturwerte für alle 10 Fingerkuppen erscheinen digital alle 12 Sekunden über einen Zeitraum von 30 Minuten nach Beginn der Kälteprovokation auf einem Bildschirm. Zusätzlich werden die Meßergebnisse auf Diskette gespeichert. Ein vom Rechner gesteuerter 6-Farben-Plotter zeichnet die Temperaturverläufe der 10 Finger in zwei getrennten Koordinatensystemen, eines für die rechte, eines für die linke Hand, auf.

Außerdem werden die Meßergebnisse auf einem dem Rechner angeschlossenen Drucker als digitale Werte ausgedruckt. Dadurch, daß bei der Fingerkuppen-Thermometrie die Thermofühler fest angeklebt sind, werden hier auch während der Kälteprovokation die Temperaturverläufe der Fingerkuppen gemessen. Dies ist bei der Infrarot-Thermographie nicht möglich.

4.1.3.3 Die Infrarot-Thermographie (IRT)

Das Prinzip der Infrarot-Thermographie beruht darauf, daß jeder Körper mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt nach Kelvin Energie in Form von elektromagnetischen Wellen abstrahlt. Da nach dem Stephan-Boltzmann'schen Gesetz die ab-

gestrahlte Energie proportional der vierten Potenz der Temperatur ist, kann man durch die Messung der abgestrahlten Energie Rückschlüsse auf die Temperatur des Körpers ziehen. Zu den Messungen und den Darstellungen der Ergebnisse wurde das Thermographie-System IKOTHERM der Firma Zeiß mit Rechner HP 9845 und Software THERMOTOM der Firma Software-Partner verwendet (Abbildungen 5 und 6).

Das Thermographie-System besteht aus dem Sensorkopf, Bedien- und Anzeige-Einheit, digitalem Bildspeicher und Farb-Monitor sowie Digital-Rechner, Floppy-Disk und Drucker. Im Gegensatz zu der Fingerkuppen-Thermometrie wird bei diesem Verfahren die Temperatur nicht nur an der Fingerkuppe, sondern über die ganze Handfläche kontaktlos erfaßt. Um die Temperaturveränderungen in Abhängigkeit von der Zeit darzustellen, wurden bei jedem Versuch 16 Thermogramme aufgenommen. Die erste Aufnahme erfolgte unmittelbar vor dem Kälteprovokationstest. Die verbleibenden 15 Aufnahmen wurden in der 3., 4. und von da an in zweiminütigen Intervallen bis zur 30. Minute aufgenommen.

Es war nötig, während der 16 Thermogramme die gleiche Position der Hände zum Infrarot-Sender beizubehalten, um die Temperaturen an den festgelegten Meßstellen auf der Hautoberfläche in Abhängigkeit von der Zeit miteinander vergleichen zu können. Aus diesem Grund legten die Versuchspersonen ihre Hände auf ein Nylonmaschennetz, an dessen oberem Rand verschiebbare Fixationsstäbe angebracht sind, die es ermöglichen, die Position der Finger fest einzustellen. Außerdem kann so eine ausreichende Abspreizung der Finger gewährleistet werden. Dies ist von Bedeutung, da sich nach **BARNES (1963)**, **GERSHON-COHEN et al. (1967)** und **HARDY (1954)** bei der IRT über den Fingerzwischenfalten sowie im Bereich der anderen Hautfalten infolge der querverlaufenden Strahlung hypotherme Zonen bilden, sofern keine ausreichende Entfaltung dieser Areale erfolgt.

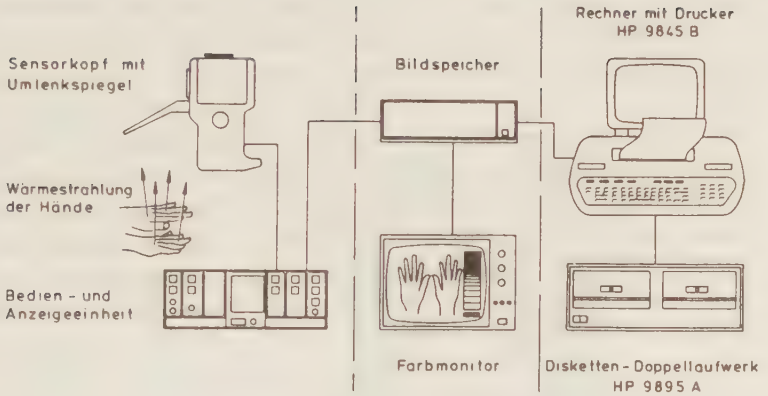


Abbildung 5: Blockschaltbild der Infrarot-Thermographie (IRT)

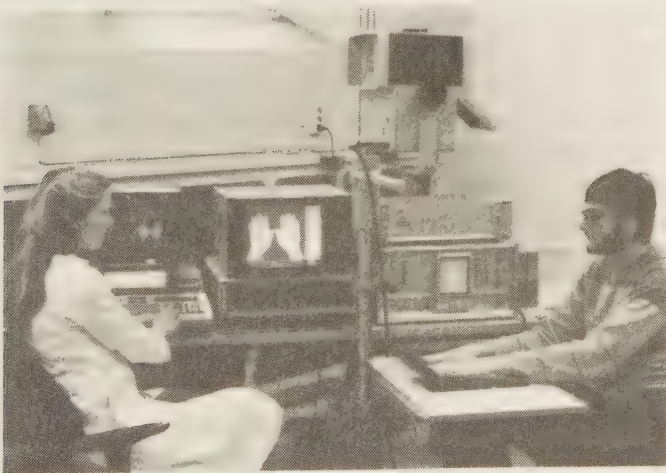


Abbildung 6: Versuchsaufbau der Infrarot-Thermographie (IRT)

Das Softwareprogramm ermöglicht eine absolute Temperaturmessung, Ermittlung von Temperaturprofilen über die gesamte Fingerlänge jedes Fingers und eine zeitabhängige graphische oder tabellarische Darstellung der Temperaturwerte der Referenzpunkte (RP) für alle 10 Finger (Abbildung 7).

Der Referenzpunkt liegt um etwa $1/7$ der gesamten Fingerlänge von der Fingerkuppe entfernt in Höhe des Nagelbettes. Damit der Rechner den RP bestimmen kann, werden für jeden Finger 2 Meßpunkte auf dem Monitor markiert. Der proximale Meßpunkt liegt zwischen Mittelhandknochen und Fingergrundglied. Als distaler Meßpunkt wird die Fingerkuppe gewählt (Abbildung 7).

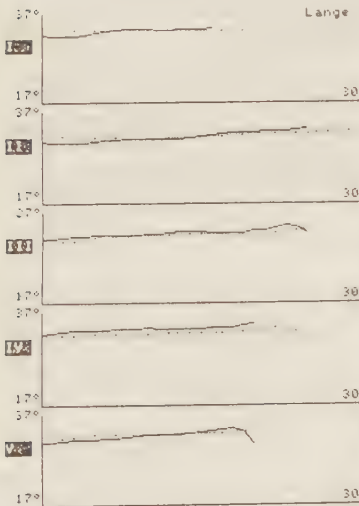
4.1.3.4 Versuchsablauf

Vor Beginn des Kälteprovokationstestes (KPT) hatten die Versuchspersonen in einem Zeitraum von mindestens 20 Minuten die Gelegenheit, sich an die Raumtemperatur (T_R) zu adaptieren. Dann wurden die Ausgangstemperaturen (T_{HO}) für die 10 Finger der jeweiligen Versuchsperson gemessen. Im Anschluß daran erfolgte eine 1minütige Kälteprovokation der Versuchspersonen durch Eintauchen beider Hände bis über das Handgelenk in ein Wasserbad. Nach Abschluß der vorgegebenen Expositionszeit wurden die Hände aus dem Wasserbad herausgenommen und trocken getupft, wobei jede Erwärmung der Hände durch Reibung zu vermeiden war. Das Abtupfen der Hände erfolgte mittels Papierhandtüchern, die sich in einer Voruntersuchung als die Absorbtionsfähigsten erwiesen hatten. Die Versuchspersonen legten nun die Hände entspannt, etwa in Hüfthöhe auf einen mit einem Nylonmaschennetz bespannten Rahmen. Durch diese Anordnung konnte gewährleistet werden, daß die ganze Hautoberfläche der Hände mit der Raumluft in Berührung kam. Die Hauttemperaturmessung mit dem jeweiligen Verfahren erfolgte über einen Zeitraum von 30 Minuten nach Beginn des Kälteprovokationstestes.

INST. FUER ARBEITSMEDIZIN / UNIVERSITÄT MAINZ
STEEGER DAG

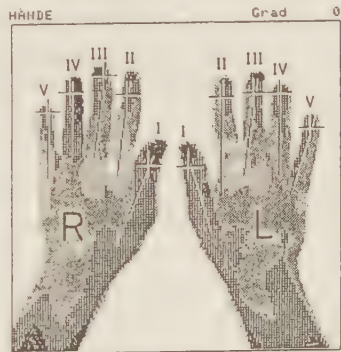
*** THERMOTON *** 06.06.85
1712621STEEG Rufnr. 243

Aufgenommen am 20.12.85 um 13:28:24



Körpertemperatur 34.0
Raumtemperatur 24.0
Tmax 33.2 Range 5.0

Rechts Links



Stelle	LI	RI	LII	RII	LIII	RIII	LIV	RIV	LV	RV
0	31.8	30.9	30.7	29.3	29.5	29.7	30.4	30.9	30.5	29.5
1	31.9	30.7	30.6	29.2	29.3	29.8	30.5	31.2	30.4	29.6
2	31.9	30.6	30.4	29.2	29.3	30.0	30.6	31.4	30.4	29.8
3	31.9	30.7	30.3	29.2	29.3	30.2	30.7	31.6	30.5	30.0
4	31.9	30.8	30.2	29.2	29.5	30.4	30.8	31.6	30.7	30.1
5	31.9	31.2	30.1	29.4	30.1	30.5	30.8	31.6	31.2	30.1
6	31.8	31.6	30.1	29.5	30.6	30.5	30.8	31.7	31.2	30.2
7	31.9	32.0	30.0	29.6	30.4	30.5	30.8	31.8	31.2	30.3
8	31.9	32.1	29.9	29.7	30.4	30.6	30.8	31.9	31.1	30.5
9	31.9	32.1	29.8	29.8	30.5	30.7	30.9	31.9	31.1	30.8
10	31.9	32.0	29.8	29.8	30.5	30.7	30.9	32.0	31.1	31.0
11	31.9	32.0	29.9	29.8	30.6	30.9	30.9	32.0	31.1	31.2
12	31.9	32.0	30.0	29.8	30.6	31.1	31.0	32.0	31.2	31.1
13	31.9	32.0	30.1	29.9	30.7	31.3	31.0	31.9	31.2	31.2
14	31.9	32.1	30.2	30.0	30.8	31.4	31.1	31.9	31.3	31.3
15	31.9	32.2	30.3	30.2	30.8	31.3	31.1	32.0	31.3	31.6
16	31.9	32.4	30.3	30.5	30.9	31.1	31.1	32.1	31.3	31.8
17	31.8		30.4	30.7	30.8	31.1	31.2	32.0	31.4	32.1
18	31.9		30.6	31.0	30.7	31.1	31.4	32.1	31.6	32.4
19	31.9		30.7	31.2	30.8	31.2	31.5	32.6	31.9	31.9
20	31.9		30.8	31.2	30.7	31.5	31.5	32.0	32.2	29.4
21			30.8	31.3	30.9	31.7	31.7			
22			30.9	31.4	31.0	32.1	32.1			
23			30.9	31.5	31.2	32.6	32.1			
24			30.9	31.6	31.5	32.4	31.3			
25			30.9	31.8	31.8	31.2	29.1			
26										
27										
28										
29										
30										

Abbildung 7: Beispiel eines Ausdruckes der mit der IRT gemessenen Temperaturverteilung über die Fingerlänge der Finger R1 bis R5 und L1 bis L5
(oben: graphische Darstellung,
unten: tabellarische Auflistung)

4.2 Untersuchungsergebnisse

4.2.1 Ergebnisse der Infrarot-Thermographie

In den im Anhang abgebildeten Tabellen 5 - 14 sind die Temperaturmittelwerte aus jeweils 8 Kälteprovokationstests (KPT) mit ihren Standardabweichungen sowie die Minima und Maxima des Vertrauensbereiches (VB) für alle Finger der Versuchspersonen (VPn) 1 bis 5 dargestellt.

Die Tabelle 3 zeigt darüber hinaus für die VPn 1 bis 5 die Zeitpunkte des ersten Erreichens der Grenztemperatur von 28°C nach dem Beginn der Kälteprovokation an allen Fingern (L1 - R5) und an R3 allein. Als Beurteilungsparameter wird dabei einmal der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$ der Temperaturen der einzelnen Finger aus allen 8 KPT, dann der Mittelwert $\bar{x}$ abzüglich der Standardabweichung s und schließlich die untere Grenze des Vertrauensbereiches VB verstanden. Bei Betrachtung der Tabelle 3 wird deutlich, daß die 10 Finger der jeweiligen Versuchsperson (VP) untereinander sowohl hinsichtlich der Temperaturmittelwerte mit ihren Standardabweichungen als auch in Bezug auf die unteren und oberen Grenzen des VB nur geringe Unterschiede aufweisen. Aus diesem Grund wird für jede VP nur der Wiedererwärmungsverlauf des rechten Mittelfingers (R3) stellvertretend für die übrigen Finger, graphisch dargestellt und besprochen (Abbildungen 8 - 22).

Die Abbildung 8 zeigt die 8 Einzelkurven der Wiedererwärmungsverläufe (WEV) des rechten Mittelfingers (R3) von Versuchsperson 1. Im Anschluß an die Kälteprovokation (KP) kommt es bei allen Fingertemperaturverläufen von R3 zu einem steilen Temperaturanstieg, so daß die VP 1 nach maximal 8 Minuten mit jedem der 8 FTV eine Temperatur von > 28°C erreicht. Die 8 Wiedererwärmungsverläufe für R3 weisen nach der steil ansteigenden Phase nur noch geringe zeitabhängige Temperaturveränderungen auf.

Tabelle 3: Zeitdauer bis zum Erreichen einer Hauttemperatur $T_H > 28^\circ\text{C}$ in 8 Wiederholungsversuchen für drei Beurteilungsparameter bei IRT

Beurteilungs- parameter	Versuchsperson	Zeitdauer (min.)				
		1	2	3	4	5
$\bar{x}$ von T_H (n=8) > 28°C	alle Finger L1 - R5	4	4	6	6	8
	Finger R3	4	3	6	4	8
$(\bar{x}-s)$ von T_H (n=8) > 28°C	alle Finger L1 - R5	8	6	8	8	14
	Finger R3	8	4	8	6	10
MIN. des VB (n=8) > 28°C	alle Finger L1 - R5	8	6	8	8	14
	Finger R3	6	4	8	6	10

Für die Ausgangstemperatur (T_{HO}) von R3 wurde bei der Versuchsperson 1 ein Temperaturmittelwert und eine Standardabweichung von $32,49^\circ\text{C} \pm 1,84^\circ\text{C}$ errechnet (Abbildung 9). Zu diesem Zeitpunkt liegt der Vertrauensbereich für den rechten Mittelfinger zwischen $30,95^\circ\text{C}$ und $34,03^\circ\text{C}$ (Abbildung 10).

In dem Zeitraum von der 3. bis etwa zur 10. Minute steigen sowohl die Temperaturmittelwerte $\bar{x}$ als auch die Minima und Maxima des VB für R3 steil an. Die VP 1 weist in diesem Zeitintervall die größten Spannbreiten des Vertrauensbereiches sowie die höchsten Werte für die Standardabweichungen von R3 auf (Abbildungen 9 und 10). Von der 10. bis zur 30. Minute finden sich sowohl für die Temperaturmittelwerte mit ihren Standardabweichungen als auch für die Minima und Maxima des Vertrauensbereiches von R3 nur noch geringe intraindividuelle Schwankungen. In der 4. Minute erreicht die VP 1 im Mittelwert für R3 (Tabelle 3) eine Temperatur von $> 28^\circ\text{C}$. Mit dem

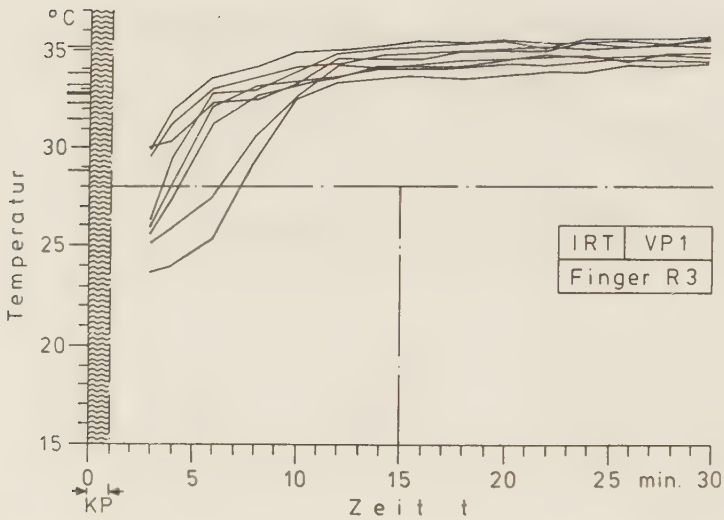


Abbildung 8: Einzelkurven des Temperaturverlaufes von R3 für VP 1

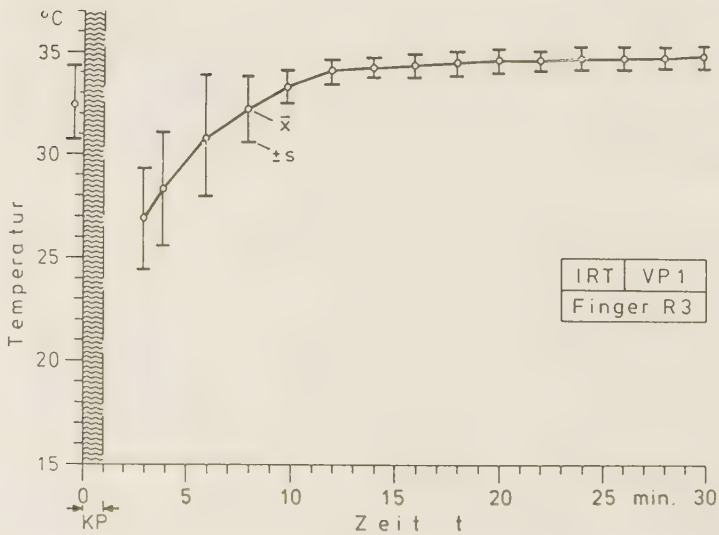


Abbildung 9: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen ($\pm s$) des Temperaturverlaufes von R3 für VP 1

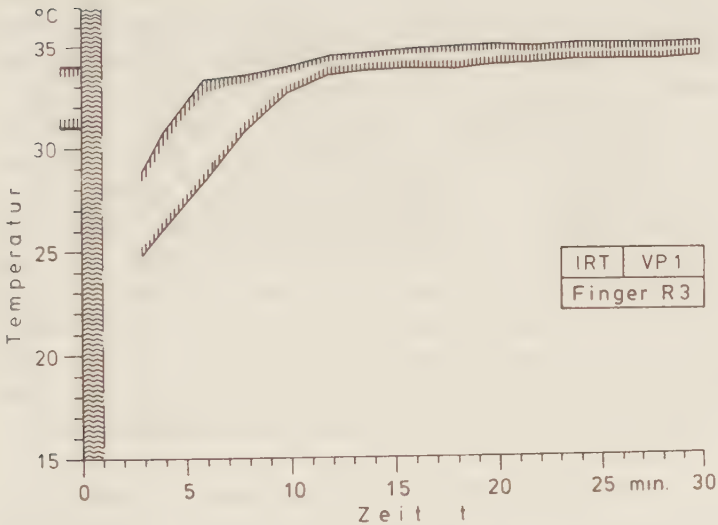


Abbildung 10: Vertrauensbereich (VB) des Temperaturverlaufes von R3 für VP 1

Minimum des VB überschreitet die VP 1 in der 6. Minute die 28°C-Grenze. Um für R3 auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichungen eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$ zu erreichen, benötigt die VP 8 Minuten.

Die VP 2 überschreitet mit jeder der 8 Einzelkurven des Wiedererwärmungsverlaufes von R3 spätestens in der 4. Minute die 28°C-Grenze (Abbildung 11). Die 8 Fingertemperaturverläufe (FTV) für R3 zeigen im Anschluß an den steilen Fingertemperaturanstieg eine Phase mit nur geringen zeitabhängigen Temperaturschwankungen.

Die VP 2 weist zu Versuchsbeginn für R3 einen Temperaturmittelwert und eine Standardabweichung von $32^{\circ}\text{C} \pm 0,91^{\circ}\text{C}$ auf

(Abbildung 12). Der Vertrauensbereich (VB) für die Fingerausgangstemperatur liegt zwischen $31,16^{\circ}\text{C}$ und $32,84^{\circ}\text{C}$ (Abbildung 13). Von der 3. bis zur ca. 6. Minute erfolgt ein starker Anstieg der Temperaturmittelwerte sowie der unteren und oberen Grenzen des VB. Für dieses Zeitintervall wurden sowohl die höchsten Standardabweichungen als auch die größten Spannbreiten des VB ermittelt. In dem Zeitraum von der 6. bis zur 30. Minute zeigen weder die Temperaturmittelwerte mit ihren Standardabweichungen noch die Maxima und Minima des VB starke zeitabhängige Temperaturschwankungen. Schon in der 3. Minute überschreitet der Temperaturmittelwert von R3 die 28°C -Grenze. Um sowohl mit dem Minimum des VB als auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung für R3 eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$ zu erreichen, benötigt die VP 4 Minuten.

Bei den 8 Einzelkurven der FTV für den rechten Mittelfinger von Versuchsperson 3 (Abbildung 14) zeigt sich nach der Kälteprovokation ein steiler Anstieg der Fingertemperatur. Im Anschluß daran treten bei allen 8 Fingertemperaturverläufen nur noch geringe Temperaturveränderungen auf. Bei einem FTV geht dem Temperaturanstieg von R3 ein leichter Temperaturabfall voraus. Nach maximal 9 Minuten haben alle Fingertemperaturverläufe die 28°C -Grenze überschritten.

Zu Beginn des KPT weist die VP 3 für R3 einen Temperaturmittelwert und eine Standardabweichung von $33,64^{\circ}\text{C} \pm 1,70^{\circ}\text{C}$ auf (Abbildung 15). Der Vertrauensbereich (VB) für R3 liegt für diesen Zeitpunkt zwischen $32,22^{\circ}\text{C}$ und $35,06^{\circ}\text{C}$ (Abbildung 16). Die höchsten Werte für die Standardabweichungen sowie die größten Spannbreiten des VB liegen im ansteigenden Teil des Fingerwiedererwärmungsverlaufes von der 3. bis zur 10. Minute. In dem Zeitraum von der 10. bis zur 30. Minute weisen sowohl die Temperaturmittelwerte mit ihren Standardabweichungen als auch die Minima und Maxima des VB für R3 nur noch geringe zeitabhängige Änderungen auf. Der Temperaturmittelwert von R3

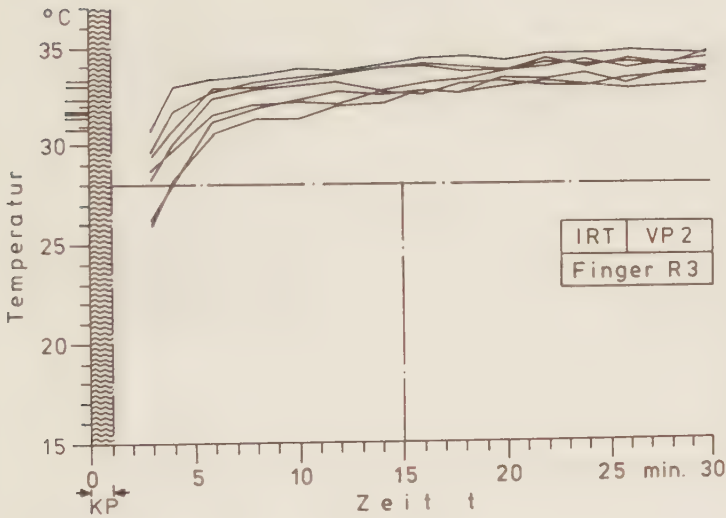


Abbildung 11: Einzelkurven des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 2

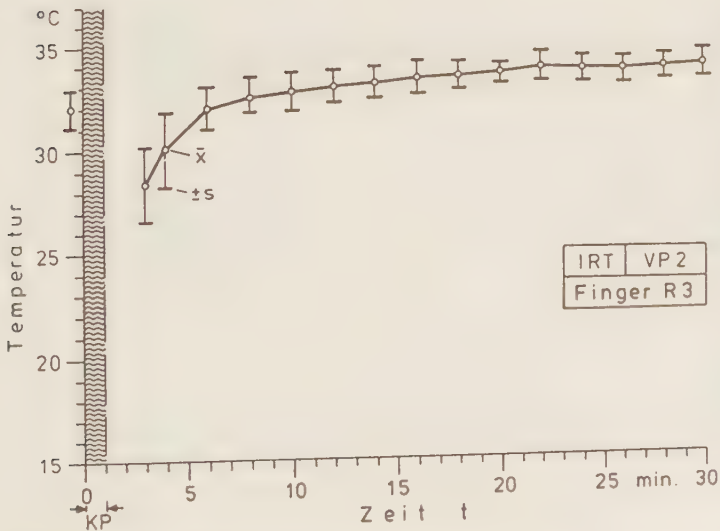


Abbildung 12: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen ($\pm s$) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 2

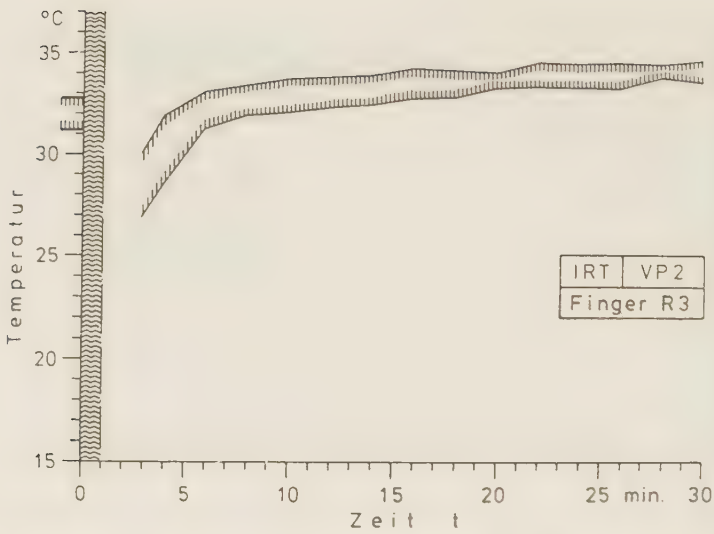


Abbildung 13: Vertrauensbereich (VB) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 2

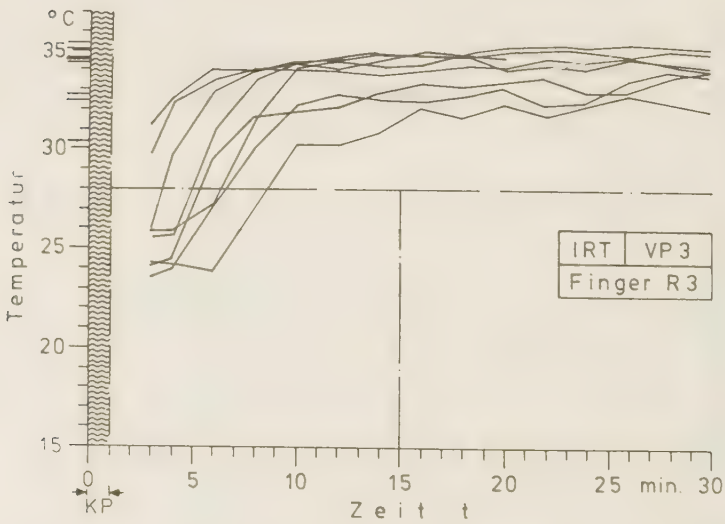


Abbildung 14: Einzelkurven des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 3

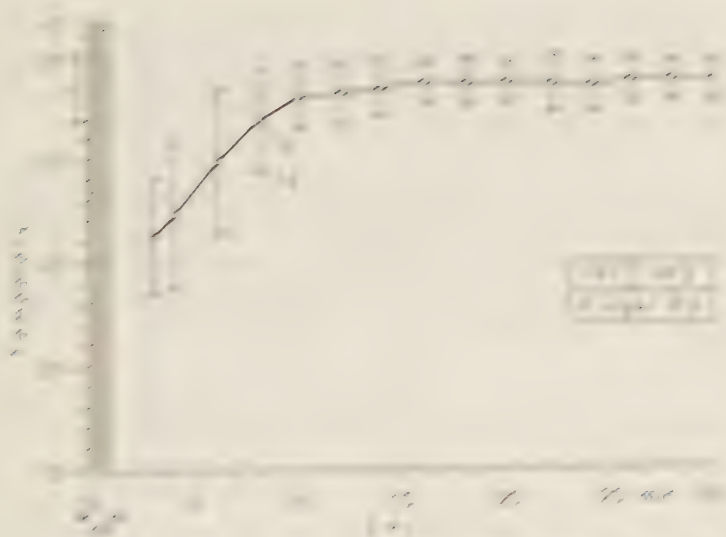


Fig. 1. The rate of reaction of the reactant with the product. The curve shows the rate of reaction of the reactant with the product. The curve shows the rate of reaction of the reactant with the product.

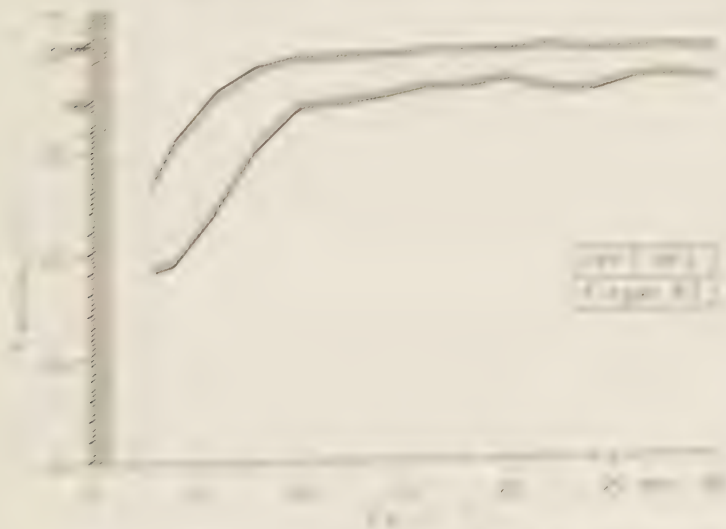


Fig. 2. The rate of reaction of the reactant with the product. The curve shows the rate of reaction of the reactant with the product. The curve shows the rate of reaction of the reactant with the product.

überschreitet in der 6. Minute die 28°C-Grenze. In der 8. Minute erreicht die VP 3 auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung und mit dem Minimum des VB für R3 eine Temperatur von > 28°C.

Auch bei der VP 4 kommt es nach einem steilen Temperaturanstieg der 8 FTV für R3 nach etwa 10 Minuten zu einer Phase, in der die Fingertemperatur weitgehend konstant bleibt (Abbildung 17). Bis zur 7. Minute erreichen alle 8 Fingertemperaturverläufe eine Temperatur von > 28°C.

Bei der VP 4 zeigt R3 zu Versuchsbeginn im Mittelwert eine Temperatur von 32,21°C, bei einer Standardabweichung von $\pm 1,17^\circ\text{C}$ (Abbildung 18). Zu diesem Zeitpunkt liegt der Vertrauensbereich (VB) zwischen 31,24°C und 33,19°C (Abbildung 19). Von der 3. bis etwa zur 8. Minute erfolgt ein steiler Anstieg der Temperaturmittelwerte sowie der Minima und Maxima des VB. Für diesen Zeitraum wurden sowohl die größten Spannbreiten des VB als auch die höchsten Standardabweichungen für R3 ermittelt. Im Anschluß daran weisen weder die Temperaturmittelwerte noch die Minima und Maxima des Vertrauensbereiches für R3 größere zeitabhängige Temperaturschwankungen auf. Die VP 4 erreicht für R3 in der 4. Minute einen Temperaturmittelwert von > 28°C. In der 6. Minute überschreitet der Temperaturmittelwert für R3 auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung und mit dem Minimum des VB für R3 die 28°C-Grenze.

Die 8 Fingertemperaturverläufe (FTV) für R3 von Versuchsperson 5 (Abbildung 20) zeigen den schon für die Versuchspersonen 1 - 4 beschriebenen Verlauf, wobei auffällt, daß zwei der Fingertemperaturverläufe bis zur 8. Minute nur einen geringen Temperaturanstieg aufweisen. Bis zur 11. Minute überschreiten alle 8 Fingertemperaturverläufe die 28°C-Grenze.

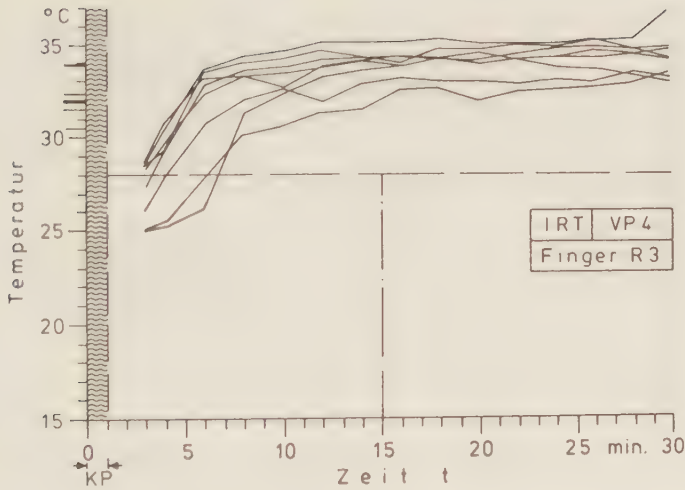


Abbildung 17: Einzelkurven des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 4

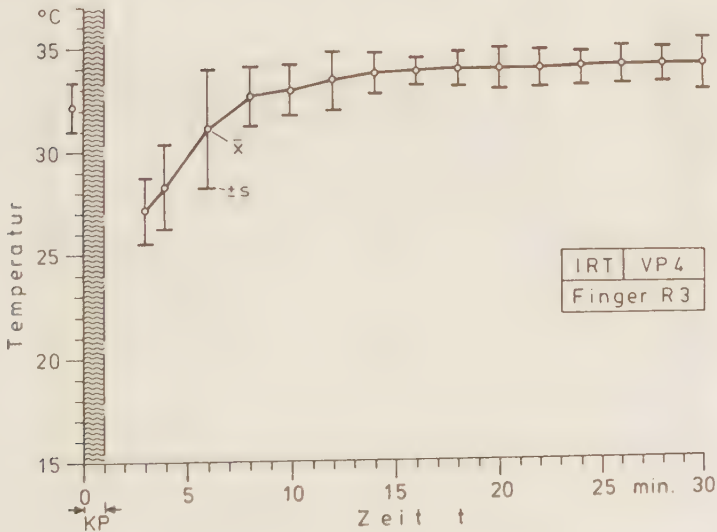


Abbildung 18: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen ($\pm s$) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 4

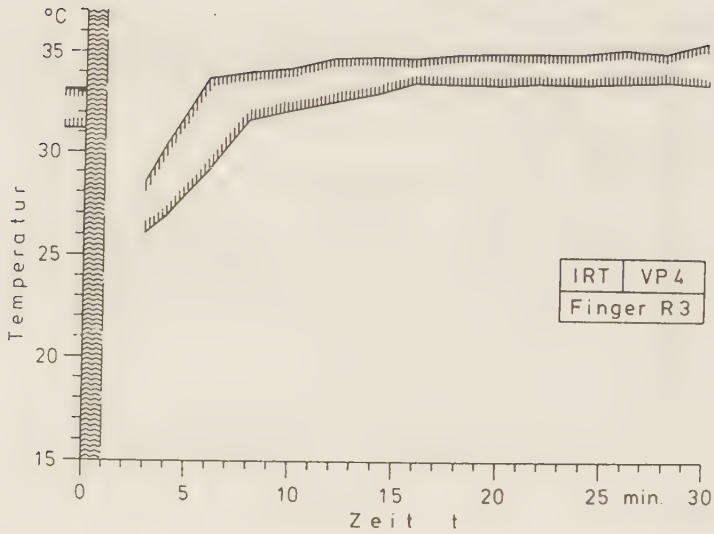


Abbildung 19: Vertrauensbereich (VB) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 4

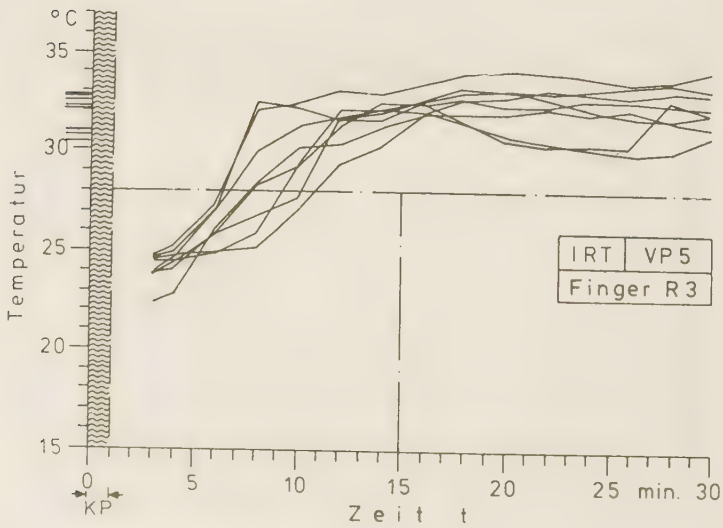


Abbildung 20: Einzelkurven des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 5

Für die Ausgangstemperatur (T_{HO}) von R3 wurde ein Temperaturmittelwert und eine Standardabweichung von $31,71^{\circ}\text{C} \pm 0,92^{\circ}\text{C}$ ermittelt (Abbildung 21). Der Vertrauensbereich (VB) für die Ausgangstemperatur von R3 liegt zwischen $30,95^{\circ}\text{C}$ und $32,48^{\circ}\text{C}$ (Abbildung 22). Die größte Spannbreite des VB und die höchsten Werte für die Standardabweichungen befinden sich auch bei VP 5 in dem steil ansteigenden Teil des FTV von der 3. bis etwa zur 12. Minute. In diesem Zeitraum steigen sowohl die Temperaturmittelwerte als auch die Minima und Maxima des VB stark an (Abbildungen 21 und 22). Von der 12. bis zur 30. Minute weisen weder die Temperaturmittelwerte noch die Minima und Maxima des VB große Temperaturveränderungen auf. In der 8. Minute erreicht die VP 5 für R3 im Mittelwert eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$. Um sowohl mit dem Minimum des VB, als auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung für R3 die 28°C -Grenze zu überschreiten, benötigt die VP 10 Minuten.

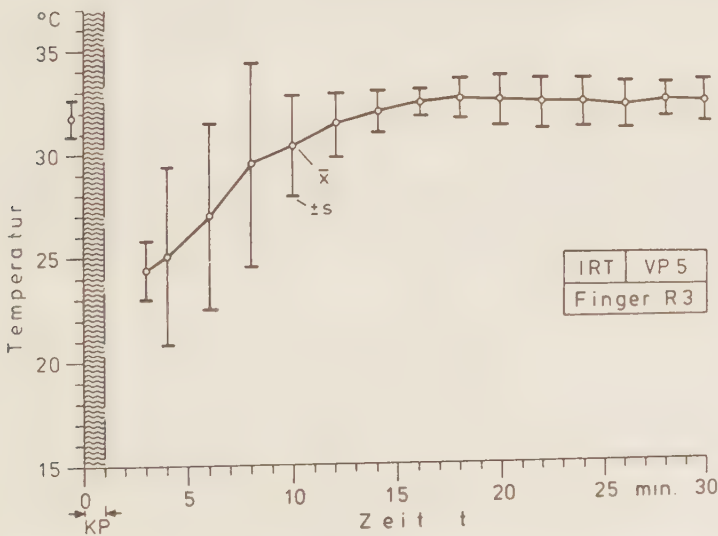


Abbildung 21: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen ($\pm s$) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 5

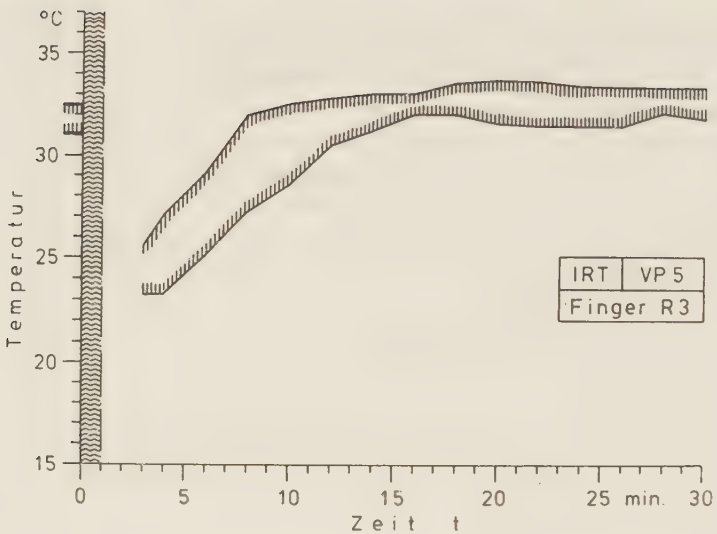


Abbildung 22: Vertrauensbereich (VB) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 5

4.2.2 Zusammenfassung der mittels IRT gewonnenen Ergebnisse

Die Auswertung der in diesem Untersuchungsabschnitt gewonnenen Versuchsergebnisse zeigt, daß alle Fingertemperaturverläufe der Versuchspersonen (VPn) 1 - 5 in 3 Phasen unterteilt werden können.

In der 1. Phase kommt es durch die Kälteprovokation zu einer Vasokonstriktion der Fingerarterien, wodurch die Fingerkuppentemperatur unter ihren Ausgangswert absinkt. Diese Phase kann durch die IRT nicht genau erfaßt werden, da es bei der IRT nicht möglich ist, während der Kälteprovokation die Fingertemperatur zu bestimmen. In der 2. Phase erfolgt ein An-

stieg der Fingerkuppentemperatur. Er wird durch eine reflektorische Vasodilatation der Fingerarterien hervorgerufen. Während der 3. Phase, die bis zum Versuchsende andauert, hat sich die Fingerkuppentemperatur auf einen Wert eingependelt und zeigt bezüglich des Temperaturmittelwertes nur noch geringe, zeitabhängige Schwankungen.

Bei allen 5 Versuchspersonen (VPn) lagen sowohl die größten Spannbreiten des VB als auch die höchsten Werte für die Standardabweichungen in der 2. Phase des FTV. In der 3. Phase weisen alle VPn weder für die Temperaturmittelwerte mit ihren Standardabweichungen noch für die Minima und Maxima des VB starke, zeitabhängige Temperaturschwankungen auf, wobei die VPn 1 - 4 in allen 3 Phasen des Fingertemperaturverlaufes geringe Standardabweichungen und eine kleine Spannbreite für den Vertrauensbereich zeigen. Die Einzelkurven der FTV der VPn 1 bis 4 erreichen bis zur maximalen 9. Minute eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$. Bis zur spätestens 8. Minute haben diese 4 Versuchspersonen sowohl unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung als auch mit dem Minimum des VB die 28°C -Grenze überschritten.

Die VP 5 überschreitet für alle 8 Einzelkurven des Wiedererwärmungsverlaufes erst in der 11. Minute die 28°C -Grenze. Um sowohl unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichungen als auch mit dem Minimum des VB für R3 eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$ zu erreichen, benötigt die VP 5 10 Minuten. Zwischen der 3. und der 8. Minute erreichen alle 5 VPn für R3 einen Temperaturmittelwert von $> 28^{\circ}\text{C}$.

4.2.3 Ergebnisse der Fingerkuppen-Thermometrie (FKT)

Bei den Versuchspersonen (VPn) 5 - 9 erfolgte die Fingertemperaturmessung mittels FKT. Auch bei diesen 5 Versuchspersonen zeigten die 10 Finger der jeweiligen Versuchsperson (VP) untereinander sowohl hinsichtlich des Vertrauensbereiches (VB) als auch in Bezug auf die Temperaturmittelwerte und ihre Standardabweichungen nur geringe Unterschiede. Diese Aussage wird durch die Tabelle 4 und die Tabellen 15 - 24 (im Anhang) belegt. Im weiteren Verlauf wird deshalb für jede Versuchsperson (VP) nur der Fingertemperaturverlauf des rechten Mittelfingers (R3) graphisch dargestellt und erörtert (Abbildungen 23 - 27).

Die Abbildung 23 zeigt die 8 Einzelkurven der FTV von R3 für VP 5. Bei 3 der 8 Fingertemperaturverläufe kommt es direkt nach der Kälteprovokation zu einem steilen Anstieg der Fingertemperatur. Im Gegensatz dazu weisen die übrigen Fingertemperaturverläufe zunächst eine unterschiedlich lange Phase mit nur geringem Temperaturanstieg auf, bevor auch hier ein steiler Temperaturanstieg erfolgt. Im Anschluß an den starken Fingertemperaturanstieg zeigten 7 FTV für R3 nur noch geringe zeitabhängige Temperaturschwankungen. Bis zur 12. Minute überschreiten alle 8 FTV die 28°C-Grenze, wobei auffällt, daß es bei einem der FTV zwischen der 13. und der 20. Minute zu einem erneuten Abfall der Fingertemperatur unter 28°C kommt.

Für T_{HO} von R3 wurde bei der VP 5 ein Temperaturmittelwert und eine Standardabweichung von $33,54^{\circ}\text{C} \pm 1,78^{\circ}\text{C}$ ermittelt. Zu diesem Zeitpunkt liegt der VB für R3 zwischen $32,05^{\circ}\text{C}$ und $35,02^{\circ}\text{C}$ (Abbildung 24). Von der 3. bis zur 12. Minute steigen die Temperaturmittelwerte sowie die Minima und Maxima des VB für R3 steil an. Für dieses Intervall wurden sowohl die höchsten Standardabweichungen als auch die größten Spannbreiten des VB ermittelt. Zwischen der 12. und der 30. Minute zeigen weder die Temperaturmittelwert mit ihren Standardabweichungen

noch die Minima und Maxima des VB starke Temperaturschwankungen. Die VP 5 erreicht in der 6. Minute für R3 im Mittelwert eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$ (Tabelle 4). In der 10. Minute überschreitet der Temperaturmittelwert für R3 auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung die 28°C -Grenze. Zu diesem Zeitpunkt hat auch das Minimum des VB eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$ erreicht.

Tabelle 4: Zeitdauer bis zum Erreichen einer Hauttemperatur $T_H > 28^{\circ}\text{C}$ in 8 Wiederholungsversuchen für drei Beurteilungsparameter bei FKT

Beurteilungs- parameter	Versuchsperson	Zeitdauer (min.)				
		5	6	7	8	9
$\bar{x}$ von T_H ($n=8$) $> 28^{\circ}\text{C}$	alle Finger L1 - R5	8	10	8	8	10
	Finger R3	6	8	8	6	8
$(\bar{x}-s)$ von T_H ($n=8$) $> 28^{\circ}\text{C}$	alle Finger L1 - R5	14	10	12	14	> 30
	Finger R3	10	10	10	14	> 30
MIN. des VB ($n=8$) $> 28^{\circ}\text{C}$	alle Finger L1 - R5	12	10	10	14	> 30
	Finger R3	10	10	10	14	> 30

Auch die 8 FTV für R3 von VP 6 (Abbildung 26) zeigen im Anschluß an den steilen Fingertemperaturanstieg eine Phase mit nur geringen zeitabhängigen Temperaturschwankungen, wobei 6 der 8 Fingertemperaturverläufe (FTV) vor dem steilen Temperaturanstieg eine unterschiedlich lange Phase mit nur geringen Temperaturerhöhungen aufweisen. Bis zur 10. Minute haben alle FTV für R3 die 28°C -Grenze überschritten.

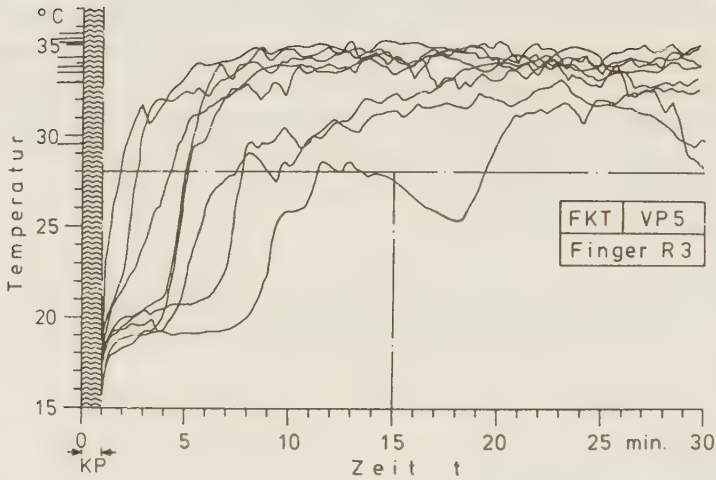


Abbildung 23: Einzelkurven des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 5

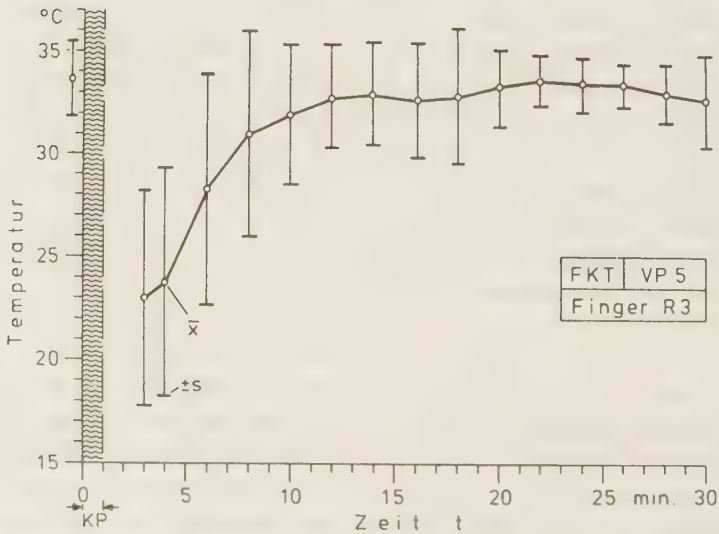


Abbildung 24: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen ($\pm s$) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 5

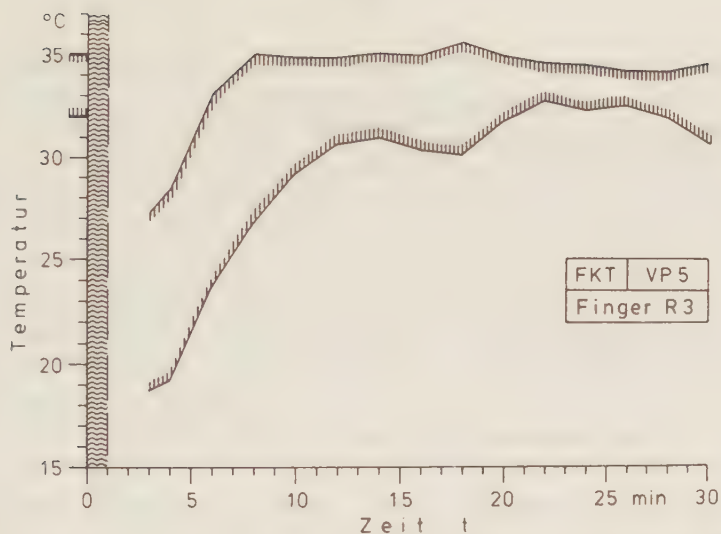


Abbildung 25: Vertrauensbereich (VB) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 5

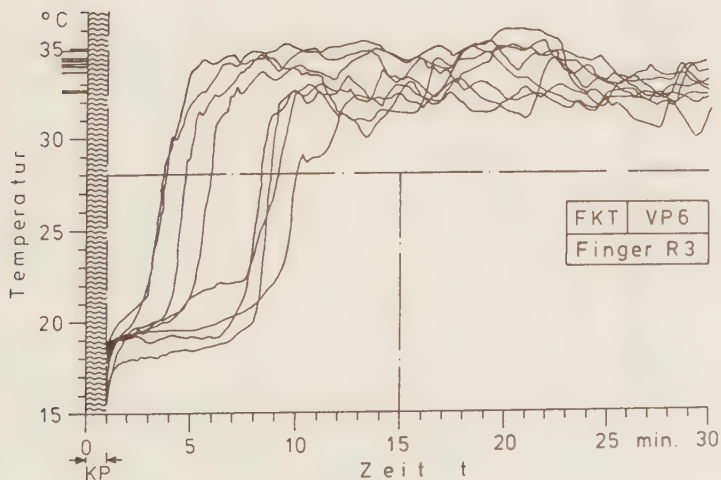


Abbildung 26: Einzelkurven des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 6

Die VP 6 weist zu Versuchsbeginn für die Ausgangstemperatur (T_{HO}) von R3 einen Temperaturmittelwert von $33,61^{\circ}\text{C}$ bei einer Standardabweichung von $\pm 0,81^{\circ}\text{C}$ auf. Der VB für die T_{HO} von R3 liegt zwischen $32,93^{\circ}\text{C}$ und $34,29^{\circ}\text{C}$ (Abbildung 27). Die höchsten Werte für die Standardabweichung sowie die größten Spannbreiten des VB liegen im ansteigenden Teil des Fingertemperaturverlaufes von der 3. bis zur 10. Minute. Im Anschluß daran weisen sowohl die Temperaturmittelwerte mit ihren Standardabweichungen als auch die Minima und Maxima des VB nur noch geringe zeitabhängige Temperaturveränderungen auf (Abbildungen 27 und 28). In der 8. Minute überschreitet die VP 6 mit dem Temperaturmittelwert für R3 die 28°C -Grenze. Um für R3 auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$ zu erreichen, benötigt diese VB 10 Minuten. Auch das Minimum des VB von R3 überschreitet zu diesem Zeitpunkt die 28°C -Grenze.

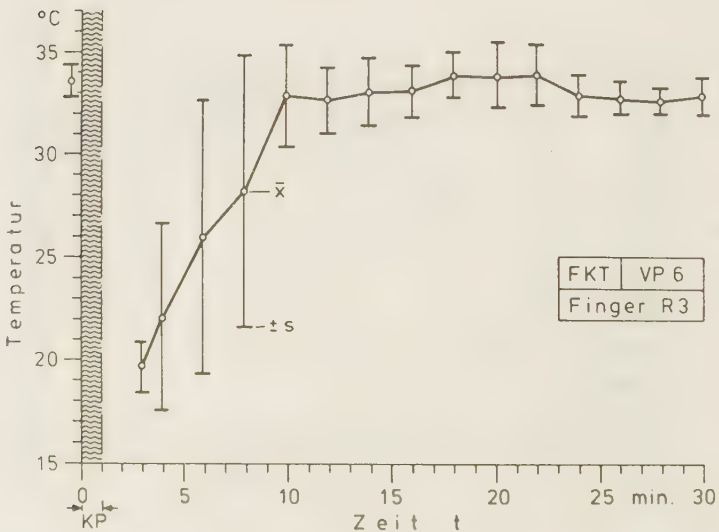


Abbildung 27: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen ($\pm s$) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 6

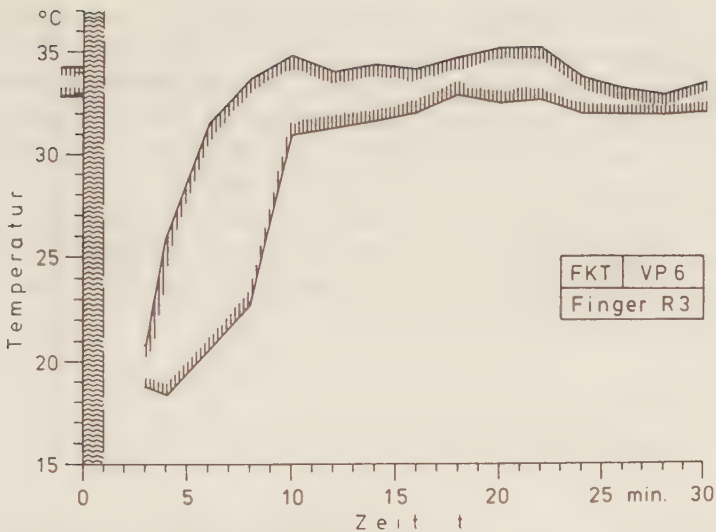


Abbildung 28: Vertrauensbereich (VB) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 6

Die VP 7 erreicht mit jedem der 8 Einzelkurven für den Temperaturverlauf von R3 bis maximal zur 9. Minute eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$ (Abbildung 29). Die einzelnen Fingertemperaturkurven zeigen den schon für die Versuchspersonen 1 - 6 beschriebenen Verlauf. Einige der Wiedererwärmungsverläufe für R3 von VP 7 weisen, ähnlich wie bei den VPn 5 und 6 einen nur geringen Temperaturanstieg auf, bevor auch hier die Fingertemperatur steil ansteigt.

Bei VP 7 zeigt R3 zu Beginn des Versuches im Mittelwert eine Temperatur von $33,96^{\circ}\text{C}$ bei einer Standardabweichung von $\pm 1,19^{\circ}\text{C}$ (Abbildung 30). Der VB liegt zu diesem Zeitpunkt zwischen $32,97^{\circ}\text{C}$ und $34,96^{\circ}\text{C}$ (Abbildung 31). Im Zeitraum von der 3. bis zur 14. Minute steigen sowohl die Fingertemperaturmittelwerte als auch die Minima und die Maxima des VB von R3 steil an. Die VP 7 weist in diesem Intervall die größte

Spannbreite des VB sowie die höchsten Werte für die Standardabweichungen auf. Von der 14. bis zur 30. Minute treten weder für die Temperaturmittelwerte mit ihren Standardabweichungen noch für die unteren und oberen Grenzen des VB große zeitabhängige Temperaturveränderungen auf (Abbildungen 30 und 31). Die VP 7 erreicht mit R3 in der 8. Minute im Mittelwert eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$. Um sowohl mit dem Minimum des VB als auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung für R3 die 28°C -Grenze zu überschreiten, benötigt diese Versuchsperson 10 Minuten.

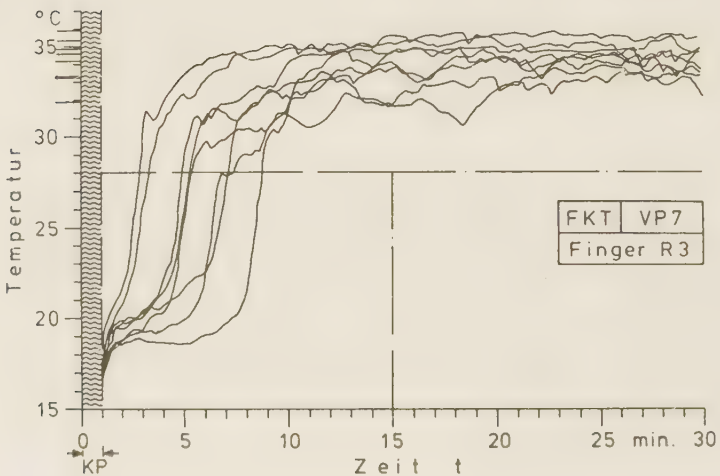


Abbildung 29: Einzelkurven des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 7

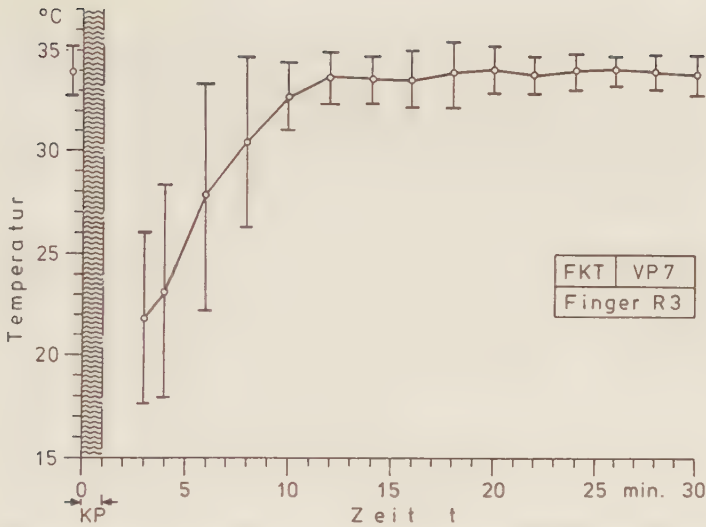


Abbildung 30: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen ($\pm s$) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 7

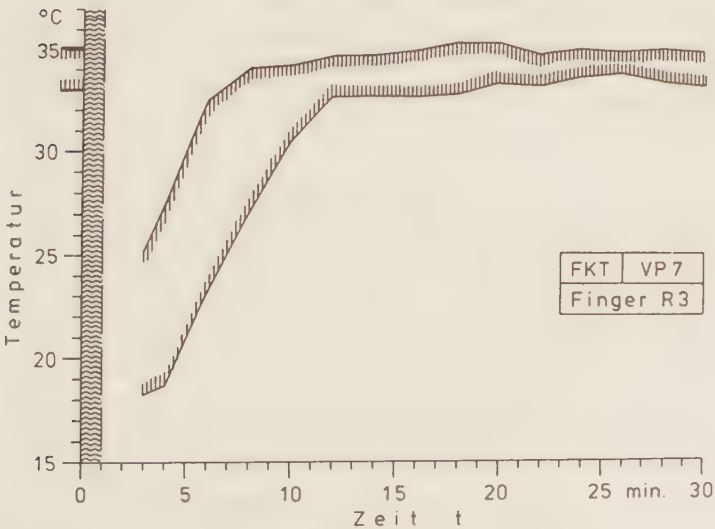


Abbildung 31: Vertrauensbereich (VB) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 7

Für R3 von VP 8 zeigen 3 der FTV vor dem steilen Fingertemperaturanstieg einen zunächst nur flachen Temperaturverlauf (Abbildung 32). Nach der steil ansteigenden Phase weisen die Fingertemperaturverläufe nur noch geringe zeitabhängige Temperaturschwankungen auf. Bis zur 14. Minute überschreiten alle 8 Einzelkurven des FTV von R3 die 28°C-Grenze.

Zu Versuchsbeginn erreichte R3 von VP 8 einen Temperaturmittelwert von 33,74°C bei einer Standardabweichung von $\pm 1,04^\circ\text{C}$ (Abbildung 33). Für den VB wurden zu diesem Zeitpunkt Werte von 32,87°C bis 34,60°C ermittelt (Abbildung 34). Sowohl die Temperaturmittelwerte für R3 als auch die Minima und Maxima des VB weisen von der 3. bis zur 14. Minute einen Temperaturanstieg auf. Im Anschluß daran zeigen weder die Temperaturmittelwerte noch der Vertrauensbereich große zeitliche Veränderungen. Die höchsten Werte für die Standardabweichungen, sowie die größten Spannbreiten des VB liegen bei der VP 8 im ansteigenden Teil des Fingertemperaturverlaufes. Der Temperaturmittelwert von R3 überschreitet in der 6. Minute die 28°C-Grenze. Unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung erreicht R3 von VP 8 nach 14 Minuten die 28°C-Grenze. Auch das Minimum des VB für R3 erreicht bis zur 14. Minute eine Temperatur von $> 28^\circ\text{C}$.

Bei der VP 9 zeigen 7 der 8 Fingertemperaturverläufe von R3 den schon für die übrigen Versuchspersonen beschriebenen Verlauf. Diese 7 FTV überschreiten nach maximal 12 Minuten die 28°C-Grenze (Abbildung 35), wobei 4 Fingertemperaturverläufe vor dem steilen Anstieg der Fingertemperatur eine Phase mit nur mäßigem Temperaturanstieg aufweisen. Ein Fingertemperaturverlauf von R3 zeigt im Gegensatz zu allen bisher besprochenen FTV zwei Besonderheiten: Erstens liegt die T_{HO} unter 28°C, und zweitens erfolgt während des gesamten Kälteprovokationstestes kein steiler Anstieg der Fingertemperatur. Bei diesem Fingertemperaturverlauf erreicht die Fingertemperatur bis zum Versuchsende nur einen Temperaturwert von $< 22^\circ\text{C}$.

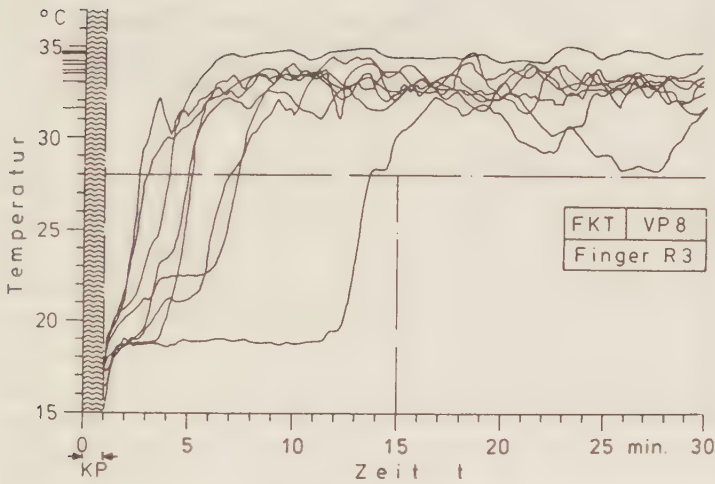


Abbildung 32: Einzelkurven des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 8

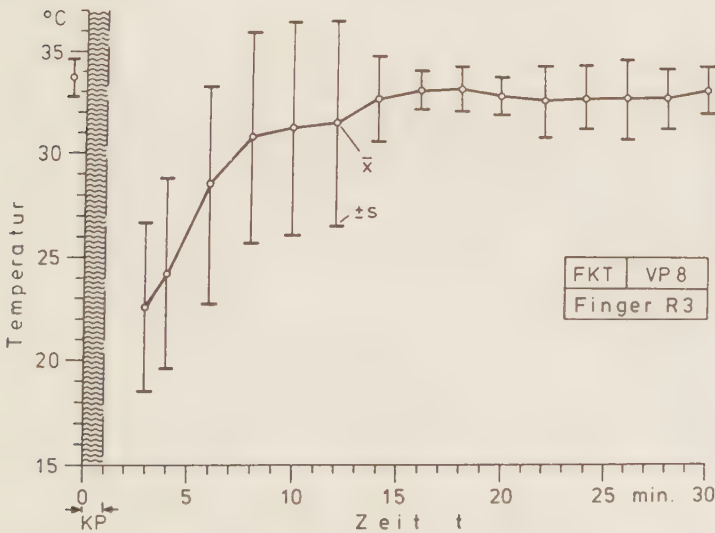


Abbildung 33: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen ($\pm s$) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 8

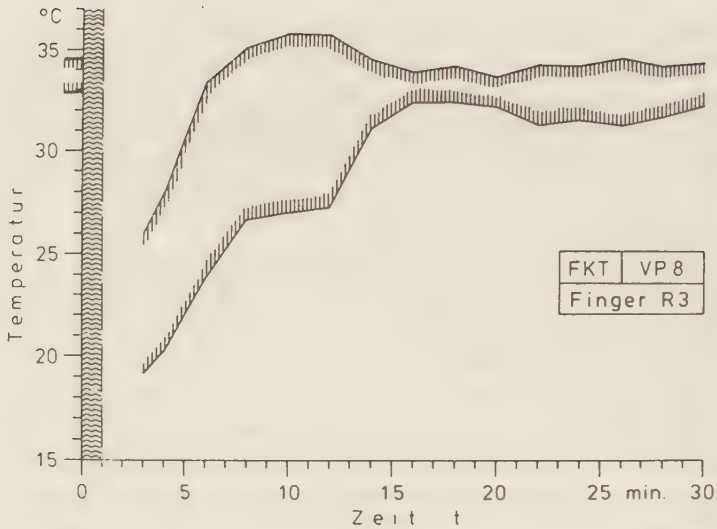


Abbildung 34: Vertrauensbereich (VB) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 8

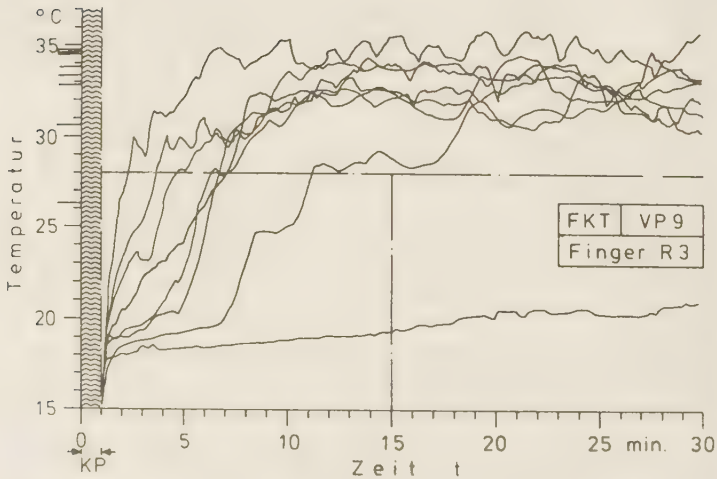


Abbildung 35: Einzelkurven des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 9

Die VP 9 weist für R3 im Mittelwert eine Ausgangstemperatur (T_{HO}) von $32,26^{\circ}\text{C}$ auf. Die Standardabweichung beträgt zu diesem Zeitpunkt $\pm 3,03^{\circ}\text{C}$ (Abbildung 36). Der VB für die T_{HO} von R3 liegt zwischen $29,73^{\circ}\text{C}$ und $34,80^{\circ}\text{C}$ (Abbildung 37). Von der 3. bis zur 14. Minute steigen sowohl die Temperaturmittelwerte als auch die Minima und Maxima des VB für R3 steil an. Im Anschluß daran zeigen weder die Temperaturmittelwerte für R3 noch die Minima und Maxima des VB große zeitabhängige Temperaturveränderungen. Als einzige Versuchsperson weist die VP 9 während des gesamten KPT große Spannweiten für den VB und hohe Werte für die Standardabweichungen auf. Aus diesem Grund gelingt es der VP 9 während der 30minütigen Fingertemperaturmessung weder unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung noch mit dem Minimum des VB die 28°C -Grenze zu überschreiten. Der Temperaturmittelwert für R3 erreicht in der 8. Minute eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$.

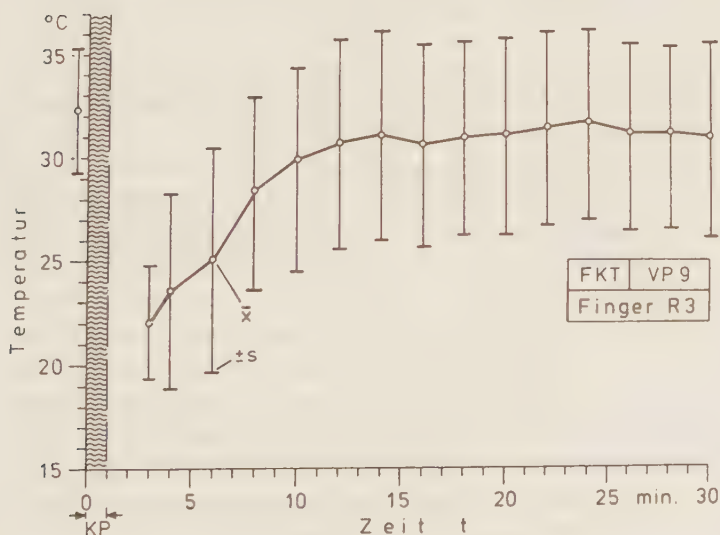


Abbildung 36: Mittelwerte ($\bar{x}$) und Standardabweichungen ($\pm s$) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 9

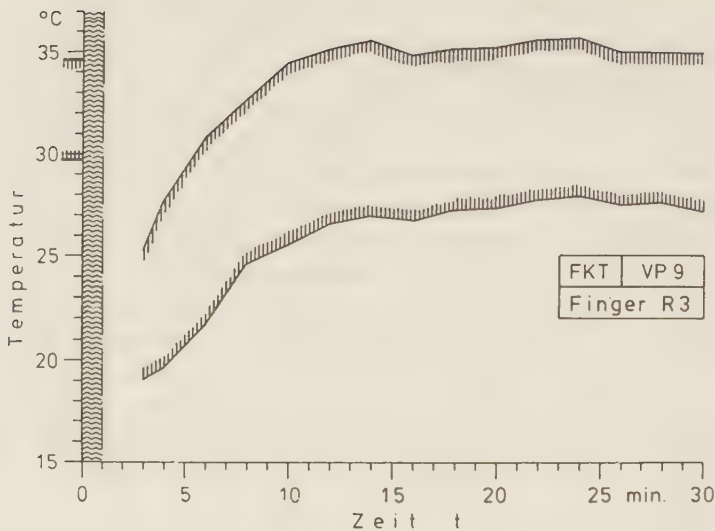


Abbildung 37: Vertrauensbereich (VB) des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 9

4.2.4 Zusammenfassung der mittels FKT gewonnenen Ergebnisse

Wie schon für die Versuchspersonen 1 - 5 beschrieben, erfolgt bei den VPn 5 - 9 der Temperaturverlauf in 3 Phasen. Die VPn 5 - 9 weisen ebenfalls in der 2. Phase der Fingertemperaturverläufe die höchsten Werte für die Standardabweichungen und die größten Spannbreiten des VB auf. In der 3. Phase kommt es bei den VPn 5 - 8 sowohl für die Temperaturmittelwerte mit ihren Standardabweichungen als auch für die Minima und Maxima des VB nur noch zu geringen zeitabhängigen Veränderungen der Temperaturwerte. Es zeigen sich in dieser Phase nur noch geringe intraindividuelle Schwankungen. Im Gegensatz dazu weist die VP 9 auch in der 3. Phase des Fingertemperaturverlaufes deutliche intraindividuelle Schwankungen auf.

Bis maximal zur 14. Minute überschreiten alle Einzelkurven des Fingertemperaturverlaufes (FTV) von R3 für die VPn 5 - 8 die 28°C-Grenze. Die VP 9 erreicht mit 7 der 8 Fingertemperaturverläufe bis zur 12. Minute eine Temperatur von > 28°C. Bei einem der FTV für R3 von VP 9 bleibt der steile Fingertemperaturanstieg aus und es kommt während des Versuches nur zu einem sehr langsamen Fingertemperaturanstieg bis auf < 22°C, wobei bei diesem FTV die Fingerausgangstemperatur (T_{HO}) unter 28°C lag.

Etwa die Hälfte der mit Hilfe der FKT ermittelten Einzelkurven der FTV der VPn 5 - 9 zeigen vor dem steilen Fingertemperaturanstieges einen zunächst nur flachen Fingertemperaturverlauf. Bei den mittels IRT gemessenen FTV der VPn 1 - 5 weisen nur 3 von 40 FTV eine deutliche Verzögerung des steilen Fingertemperaturanstieges auf.

Um sowohl mit dem Minimum des VB für R3 als auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung die 28°C-Grenze zu überschreiten, benötigten die VPn 5 - 8 10 bzw. 14 Minuten. Die VP 9 erreichte während des gesamten 30minütigen Versuches weder unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung, noch mit dem Minimum des VB für R3 eine Temperatur von > 28°C. Bis zur 8. Minute haben alle 5 Versuchspersonen mit ihren Temperaturmittelwerten für R3 die 28°C-Grenze überschritten.

4.2.5 Gegenüberstellung der Infrarot-Thermographie (IRT) und der Fingerkuppen-Thermometrie (FKT)

Um zu überprüfen, ob die zwei Temperaturmeßmethoden vergleichbare Ergebnisse liefern, erfolgten bei der VP 5 die Temperaturmessungen sowohl mit der IRT als auch mit der FKT. Zwischen den Messungen mittels IRT und den Messungen mit Hilfe der FKT lag ein Abstand von mehreren Tagen. Die für R3 graphisch dargestellten und besprochenen Ergebnisse gelten mit geringen Abweichungen auch für die übrigen Finger von VP 5.

Bei beiden Verfahren zeigt die VP 5 für R3 einen 3phasigen Temperaturverlauf, wobei auffällt, daß die Hälfte der mittels FKT bestimmten Fingertemperaturverläufe für R3 nach der Kälteprovokation zunächst eine unterschiedlich lange Phase mit nur geringem Temperaturanstieg aufweisen (Abbildung 24). Bei der IRT zeigen nur 2 der 8 FTV dieses Verhalten (Abbildung 20). Die mit der IRT ermittelten 8 Einzelkurven des FTV liegen deutlich dichter zusammen als die mit der FKT bestimmten Fingertemperaturverläufe. So erreichen bei der IRT alle FTV in dem Zeitraum zwischen der 6. und 11. Minute eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$. In der 15. Minute weisen die 8 FTV Temperaturwerte zwischen 31°C und 33°C auf. Bei der FKT überschreiten die FTV für R3 zwischen der 2. und 12. Minute die 28°C -Grenze. Die Fingertemperaturwerte der 8 FTV liegen in der 14. Minute bei der FKT zwischen etwa 28°C und 35°C .

Die höchsten Werte für die Standardabweichungen sowie die größten Spannbreiten des VB liegen bei beiden Meßmethoden in der 2. Phase des Temperaturverlaufes. Für die 3. Phase des FTV von VP 5 wurden sowohl mit der IRT als auch mit der FKT nur noch geringe Standardabweichungen und ein schmaler VB ermittelt. Die VP 5 zeigt bei der FKT während des gesamten Versuches deutlich größere Spannbreiten für den VB, sowie höhere Standardabweichungen als bei der IRT (Abbildungen 38 und 39).

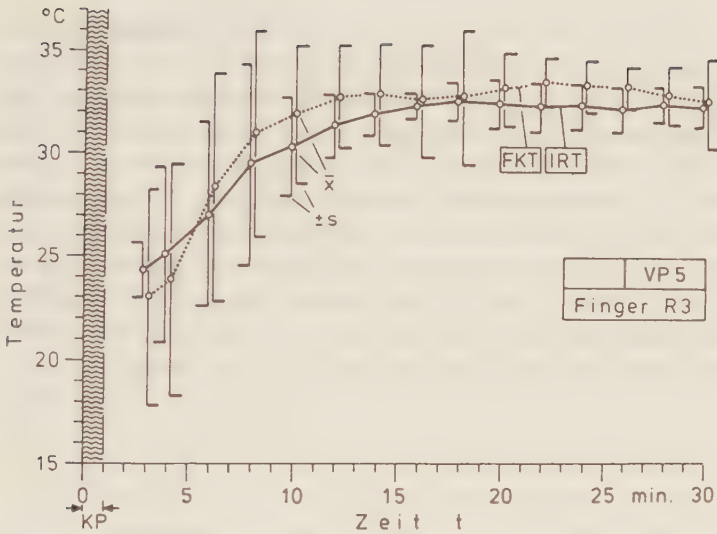


Abbildung 38: Temperaturmittelwerte und Standardabweichungen für R3 von VP 5 (Vergleich von FKT und IRT)

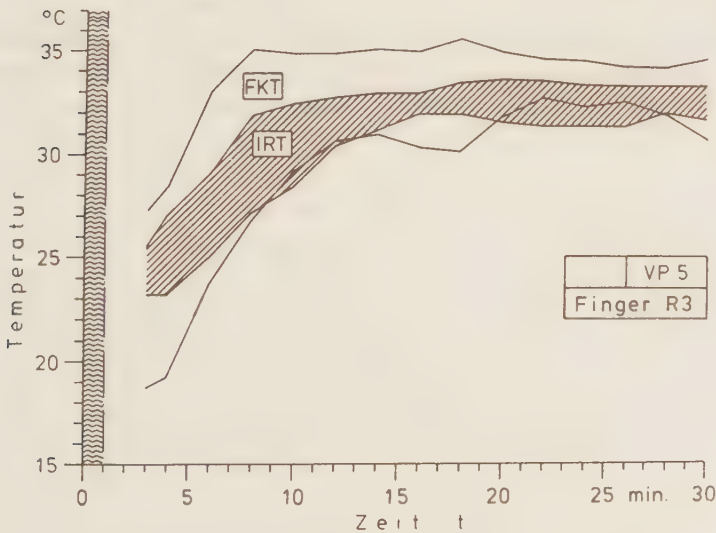


Abbildung 39: Vertrauensbereich (VB) für R3 und VP 5 (Vergleich von FKT und IRT)

Trotz dieser Unterschiede in Bezug auf den VB und die Standardabweichungen erreicht die VP 5 für R3 mit beiden Meßverfahren in der 10. Minute sowohl unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung als auch mit dem Minimum des VB eine Fingertemperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$. Um die 28°C -Grenze mit dem Temperaturmittelwert von R3 zu überschreiten, benötigt die VP 5 bei der FKT 6 Minuten und bei der IRT 8 Minuten. Aufgrund der Einzelkurven der Fingertemperaturverläufe sowie der Temperaturmittelwerte mit ihren Standardabweichungen und des VB zeigt sich, daß die VP 5 bei der FKT eine deutlich größere intraindividuelle Schwankung aufweist als bei der IRT.

5. Diskussion

Die tägliche Handhabung von Vibrationsgeräten kann bei den betroffenen Berufsgruppen zu einem Krankheitsbild führen, das sich in einer lividen Verfärbung und Gefühlsstörung der Hände äußert. Zusätzlich treten Vasospasmen auf, die eine Weißfärbung der Finger bewirken. Im Volksmund bezeichnet man das Krankheitsbild deshalb auch als "Weißfingerkrankheit". Nach **KLOSTERKÖTTER (1974)** wird dieses Leiden als "Vibrationsbedingtes Vasospastisches Syndrom (VVS)" bezeichnet. Das VVS wird seit 1977 in der BRD als eigenständige Berufskrankheit anerkannt. Seither findet es sich unter der Ziffer 2104 in der Berufskrankheitenverordnung (BeKV).

In den Studien von **DUPUIS und WEICHENRIEDER (1977)**, **CHANG (1976)**, **HELLSTRÖM (1970)**, **KOTANI et al. (1976)** und **IWATA et al. (1974)** konnte die Bedeutung der Vibrationsbelastung und der Einfluß von Kälte bei der Entstehung des VVS nachgewiesen werden. Die verschiedenen Vorstellungen in Bezug auf die Pathogenese des VVS wurden in der Hypothese zusammengefaßt, daß vibrationsbedingte Veränderungen, sowohl der Gefäße als auch des peripheren Nervensystems zusammen zu den Symptomen des VVS führen.

Zur Diagnose des VVS wird international zumeist eine Kälteprovokation (KP) der Finger mit Bestimmung des Fingertemperaturverlaufes (FTV) angewendet (= KPT). Die Autoren **GORSKI und FIBIGER (1979)**, **CHANG (1976)** und **BRUBAKER (1983)** halten die Bestimmung der Erholungszeit (= Zeitdauer nach KPT, bis die Ausgangstemperatur der Fingerkuppen wieder erreicht ist) für einen geeigneten Parameter zur Diagnose des VVS. Nach **DUPUIS (1986)** werden die Wiedererwärmungsverläufe der Finger in 3 Gruppen eingeteilt.

Der 1. Gruppe werden die Versuchspersonen zugeordnet, deren Fingerkuppentemperatur innerhalb von 15 Minuten nach der Kälteprovokation für alle Finger eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$ erreichen. Dieses Wiedererwärmungsverhalten wird als normal bezeichnet. In der 2. Gruppe befinden sich die Versuchspersonen, die innerhalb von 30 Minuten nach der Kälteprovokation die 28°C -Grenze überschreiten. Das Wiedererwärmungsverhalten der Finger dieser Versuchspersonen ist mäßig verzögert. Die 3. Gruppe umfaßt die Versuchspersonen, denen es innerhalb des 30minütigen Versuches nicht gelingt, an allen Fingern eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$ zu erreichen. Der stark verzögerte Wiedererwärmungsverlauf der Finger dieser Versuchspersonen ist als Hinweis auf das Vorliegen eines pathologischen thermoregulatorischen Verhaltens zu werten.

5.1 Versuchsmethodik

Ziel der Untersuchungen war es, festzustellen, inwieweit die nach der Kälteprovokation auftretende Wiedererwärmung der Finger intraindividuellen Schwankungen unterworfen ist und ob zwischen den einzelnen Versuchspersonen in Bezug auf die intraindividuellen Schwankungen Unterschiede bestehen. Aus diesem Grund wurden an 9 gesunden, nicht vibrationsbelasteten, männlichen Versuchspersonen eine 8malige Wiederholung des KPT durchgeführt. Bei jeder Versuchsperson erfolgte pro Tag nur eine Untersuchung. Als Parameter für die intraindividuellen Schwankungen der einzelnen VPn dienten die Einzelkurven der FTV, sowie die daraus errechneten Fingertemperaturmittelwerte mit Standardabweichungen und Vertrauensbereich (VB).

Um sowohl einen intraindividuellen als auch einen interindividuellen Vergleich der Ergebnisse zu gewährleisten, erfolgte eine strenge Standardisierung der Versuchsbedingungen und der Versuchsdurchführung. So fanden alle Untersuchungen in einem

geschlossenen Raum bei einer Raumtemperatur (T_R) von 20 - 23°C statt. Nach einer mindestens 20minütigen Adaptation an die T_R wurden die Ausgangstemperaturen für die 10 Fingerkuppen der jeweiligen Versuchsperson bestimmt. Als Kälteprovokation (KP) bewährt sich das gleichzeitige Eintauchen beider Hände bis über das Handgelenk für den Zeitraum von 1 Minute in ein Wasserbad von 15°C. Auch DUPUIS (1986) hält eine Temperatur des Wasserbades (T_W) zwischen 14°C und 16°C bei einer Expositionsdauer von > 40 sec zur KP als geeignet. Dabei ist die Expositionsdauer für die Reizwirkung von großer Bedeutung und sollte deshalb nicht zu kurz gewählt werden.

5.2 Versuchsergebnisse

Die Auswertung der Versuchsergebnisse zeigte, daß die 10 Finger der jeweiligen Versuchsperson untereinander in Bezug auf ihre Fingertemperaturverläufe nur geringe Unterschiede aufweisen. Deshalb wurden für jede VP nur die Fingertemperaturverläufe des rechten Mittelfingers (R3), stellvertretend für die übrigen Finger, graphisch dargestellt und besprochen.

Bei allen 9 Versuchspersonen konnte der Temperaturverlauf während des Kälteprovokationstestes (KPT) in 3 Phasen unterteilt werden.

In der 1. Phase kommt es durch die Kälteprovokation zu einer Vasokonstriktion der Fingerarterien, was ein Absinken der Fingerkuppentemperatur weit unter ihren Ausgangswert zur Folge hat. Durch eine reflektorische Vasodilatation der Fingerarterien erfolgt in der 2. Phase ein Wiederanstieg der Fingertemperatur. In dieser Phase weisen die 9 VPn die größten intraindividuellen Schwankungen auf. Während der 3. Phase, die bis zum Versuchsende andauert, hat sich die Fingertemperatur auf einen Temperaturwert eingestellt und weist nur noch

geringe Temperaturveränderungen auf. Bei 8 der 9 VPn zeigen sich in dieser Phase nur noch geringe intraindividuelle Schwankungen.

Von den 5 Versuchspersonen (VPn 1 - 5), die mittels IRT untersucht wurden, zeigen 4 Versuchspersonen (VPn 1 - 4) während der gesamten Fingertemperaturverläufe (FTV) nur relativ geringe intraindividuelle Schwankungen. Bei diesen 4 VPn erreichen alle Einzelkurven der FTV von R3 bis zur spätestens 9. Minute eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$. Um sowohl unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung als auch mit dem Minimum des VB die 28°C -Grenze zu überschreiten, benötigen die VPn 1 - 4 maximal 8 Minuten. Die VP 5 erreicht mit allen 8 Einzelkurven der FTV für R3 erst in der 11. Minute eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$. Unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung und dem Minimum des VB für R3 überschreitet die VP 5 bei der IRT in der 10. Minute die 28°C -Grenze.

Bei den mit Hilfe der FKT untersuchten VPn 5 - 9 zeigte eine Versuchsperson (VP 9) in allen 3 Phasen des Fingertemperaturverlaufes große intraindividuelle Schwankungen. Auch die T_{HO} von VP 9 weist an allen 10 Fingern größere intraindividuelle Schwankungen auf als die der übrigen Versuchspersonen. Dieses Verhalten wird durch den Verlauf der 8 Einzelkurven des FTV (Abbildung 35) von R3 erklärt. So erreicht die VP 9 mit 7 der 8 Fingertemperaturverläufe bis zur spätestens 12. Minute eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$. Bei einem der FTV kommt es jedoch während des gesamten KPT nur zu einem Fingertemperaturanstieg von $< 22^{\circ}\text{C}$. Die Ausgangstemperatur an R3 betrug bei diesem Versuch trotz Adaptation $< 28^{\circ}\text{C}$.

Um auszuschließen, daß der fehlende Fingertemperaturanstieg des oben angeführten Fingertemperaturverlaufes von VP 9 durch eine Beeinflussung von außen bedingt war, wurden alle mittels FKT ermittelten Fingertemperaturverläufe auf eine Beeinflus-

sung durch exogene Faktoren überprüft. Hierbei zeigt sich, daß ca. die Hälfte der FTV in der 2. Phase ihres Wiedererwärmungsverlaufes eine Unterbrechung bzw. Verzögerung des steilen Fingertemperaturanstieges aufweisen. Dieses Verhalten der FTV ist wahrscheinlich durch die Verdunstung von verbleibenden Wassertropfen an den Temperaturmeßfühlern bedingt. Untersuchungen von **CHIANG (1979)** und **SCHÖBERL (1986)** ergaben, daß eine niedrige Fingerausgangstemperatur ($T_{HO} < 28^{\circ}\text{C}$) zu einer Verlängerung des Wiedererwärmungsverlaufes der Finger führen kann. Ein völliges Ausbleiben des steilen Fingertemperaturanstieges aufgrund einer niedrigen T_{HO} wird jedoch weder bei **CHIANG (1979)** noch bei **SCHÖBERL (1986)** beschrieben. Vielmehr erreichen bei **SCHÖBERL (1986)** über 90 % der nichtschwingungsbelasteten Arbeiter mit einer $T_{HO} < 28^{\circ}\text{C}$ bis zur 20. Minute nach der KP eine Fingertemperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$.

Es ist somit als unwahrscheinlich anzusehen, daß es aufgrund der oben angegebenen exogenen Faktoren zu einem völligen Ausbleiben des steilen Fingertemperaturanstieges kommt. Vielmehr scheinen die niedrige Fingerausgangstemperatur und der fehlende Fingertemperaturanstieg bei diesem Fingertemperaturverlauf Ausdruck einer labilen Temperaturregulation von VP 9 zu sein.

Die Versuchspersonen 5 - 8 erreichen mit allen Einzelkurven des Fingertemperaturverlaufes für R3 spätestens in der 14. Minute eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$. Bei diesen 4 VPn überschreitet R3 in der 10. bzw. der 14. Minute sowohl unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung als auch mit dem Minimum des VB die 28°C -Grenze. Die Versuchspersonen 5 - 9 überschreiten bis zur spätestens 8. Minute mit den Temperaturmittelwerten für R3 die 28°C -Grenze.

5.3 Interpretation

Die 9 Versuchspersonen können aufgrund ihrer intraindividuellen Schwankungen in drei, hinsichtlich des thermoregulatorischen Verhaltens unterschiedliche, Typen eingeteilt werden.

Der Typ A erreicht spätestens in der 8. Minute nach Versuchsbeginn an allen Fingern, sowohl mit den unteren Grenzen des Vertrauensbereiches als auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichungen Temperaturwerte von $> 28^{\circ}\text{C}$. Dieser Typ zeigt in allen 3 Phasen des Temperaturverlaufes nur geringe intraindividuelle Schwankungen und weist somit eine stabile Thermoregulation auf.

Der Typ B überschreitet innerhalb des Zeitintervalles zwischen der 8. und der 30. Minute nach Beginn der KP an allen Fingern sowohl mit den Minima des Vertrauensbereiches als auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichungen die 28°C -Grenze. Bei diesem Typ liegen in der 2. Phase des FTV große intraindividuelle Schwankungen vor, die jedoch in der 3. Phase deutlich kleiner werden.

Der Typ C benötigt einen Zeitraum von > 30 Minuten, um an allen Fingern sowohl mit den unteren Grenzen des Vertrauensbereiches als auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung Temperaturwerte von $> 28^{\circ}\text{C}$ zu erreichen. Das thermoregulatorische Verhalten von Typ C ist als labil zu bewerten, da bei diesem Typ sowohl die Fingerausgangstemperatur (T_{HO}) als auch die 3 Phasen des FTV große intraindividuelle Schwankungen aufweisen.

Anhand der Versuchsergebnisse wurden 4 Versuchspersonen (VP 1 - 4) dem Typ A, 4 weitere (VP 5 - 8) dem Typ B und eine Versuchsperson (VP 9) dem Typ C zugeordnet. Versuchspersonen vom Typ C erreichen bei nur einmaliger Durchführung des KPT eventuell während des gesamten Versuches nur eine Fingertempera-

tur von $< 28^{\circ}\text{C}$ und liefern somit den Hinweis auf eine pathologische Gefäßreaktion. Bei einer mehrmaligen Durchführung des KPT zeigt sich jedoch, daß das oben angeführten Verhalten der Fingertemperatur bei Versuchspersonen vom Typ C durch eine labile Thermoregulation und nicht durch eine pathologische Gefäßreaktion bedingt ist.

Es empfiehlt sich deshalb, Versuchspersonen, bei denen nach einmaligem KPT der Verdacht auf eine pathologische Gefäßreaktion vorliegt, einer mehrmaligen Wiederholung des Versuches an verschiedenen Tagen zu unterziehen. Nur unter diesen Bedingungen kann eine Beeinflussung der Ergebnisse durch starke intraindividuelle Schwankungen ausgeschlossen werden.

Die oben angeführten Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen die Beobachtungen von **KLÜKEN (1964)** sowie **GORSKI und FIBIGER (1979)**. Diese Autoren teilen die Versuchspersonen in Bezug auf die akrale Temperaturregulation in 3 Reaktionstypen ein, die sie als homiothermen Typ (= an der Körperkerntemperatur orientierter Typ mit einer relativ konstanten Hauttemperatur), poikilothermen Typ (= an der Außentemperatur adaptierter Typ mit Schwankungen in der Hauttemperatur) und amphithermen Typ (= Zwischentyp) bezeichnen. Nach **KLÜKEN (1964)** verhalten sich diese Typen gegenüber gefäßaktiven Maßnahmen unterschiedlich. Deshalb sollte man bei der Beurteilung des Temperaturverhaltens der Finger die oben angegebene Typeneinteilung berücksichtigen.

5.4 Vergleich von Infrarot-Thermographie und Fingerkuppen-Thermometrie

Um Unterschiede zwischen den beiden Verfahren feststellen zu können, wurde bei einer Versuchsperson (VP 5) die Fingerkuppentemperatur sowohl mit der Infrarot-Thermographie (IRT) als auch mit der Fingerkuppen-Thermometrie (FKT) gemessen. Es zeigte sich, daß die Standardabweichungen und die Vertrauensbereiche der 10 Finger von VP 5 bei der IRT während des gesamten Versuchsablaufes niedriger sind als bei der FKT.

Die Hälfte der mittels FKT bestimmten Einzelkurven des Fingertemperaturverlaufes von R3 für VP 5 weisen nach der Kälteprovokation zunächst eine unterschiedlich lange Phase mit nur geringem Fingertemperaturanstieg auf. Bei der IRT zeigen nur 2 der 8 Einzelkurven des FTV von VP 5 dieses Verhalten. Diese Unterschiede zwischen den zwei Meßverfahren sind sehr wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß bei der FKT das Abtrocknen der Finger durch aufgeklebte Meßwiderstände erschwert wird. Die an den Meßwiderständen verbleibenden Wassertropfen erzeugen durch Verdunstung Kälte und können somit die FTV beeinflussen. Da bei der IRT die Fingertemperaturmessung kontaktlos erfolgte, konnte eine Beeinflussung durch Verdunstungskälte weitgehend ausgeschlossen werden. Außerdem erfolgten bei der IRT die Temperaturmessungen der Finger immer in der gleichen Position, da sie mittels eines Nylonmaschendrahtnetzes fixiert werden konnten. Auch das war bei der FKT aufgrund der aufgeklebten Meßfühler nicht möglich.

Die VP 5 überschreitet sowohl mit der IRT als auch mit der FKT bis spätestens zur 12. Minute für die Einzelkurven der FTV von R3 die 28°C-Grenze. Um mit beiden Meßverfahren für R3 unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung sowie mit dem Minimum des VB eine Temperatur von > 28°C zu erreichen, benötigt die VP 5 maximal 10 Minuten. Daher kann die VP 5 trotz der oben angeführten Unterschiede zwischen der IRT

und FKT mit beiden Verfahren dem gleichen thermoregulatorischen Typ zugeordnet werden. Da auch DUPUIS (1987) in einer Untersuchung an 211 Arbeitern zu dem Schluß kam, daß die IRT und die FKT im Prinzip übereinstimmende Ergebnisse erbringen, bietet sich die FKT als das kostenmäßig bedeutend günstigere Verfahren für die arbeitsmedizinische Praxis an. Bei zukünftigen Temperaturmessungen sollte die Durchführung der FKT jedoch so modifiziert werden, daß die oben angeführten Fehlerquellen weitgehend ausgeschlossen werden.

Der Einsatz der IRT ergibt zusätzliche Informationen über das Ausmaß der Ausbreitung von Durchblutungsstörungen. Aufgrund der hohen Kosten ist die Anwendung der IRT zur Zeit jedoch wohl nur in Spezialkliniken und arbeitsmedizinischen Instituten vorstellbar.

5.5 Schlußfolgerungen

1. Als Parameter für die intraindividuellen Schwankungen der Versuchspersonen dienten die Einzelkurven der Fingertemperaturverläufe sowie die daraus errechneten Fingertemperaturmittelwerte mit ihren Standardabweichungen und dem VB. Anhand dieser Parameter konnten die 9 VPn in drei hinsichtlich ihres thermoregulatorischen Verhaltens unterschiedliche Typen eingeteilt werden. Versuchspersonen vom Typ A zeigen während des gesamten KPT nur geringe intraindividuelle Schwankungen. Beim Typ B weisen die VPn in der 2. Phase des Fingertemperaturverlaufes große intraindividuelle Schwankungen auf, die jedoch in der 3. Phase deutlich kleiner werden. Versuchspersonen vom Typ C zeigen in allen 3 Phasen des Fingertemperaturverlaufes große intraindividuelle Schwankungen.

2. Bei Versuchspersonen mit einer labilen, aber keineswegs pathologischen Temperaturregulation (= Typ C), kann eine nur einmalige Durchführung des KPT zu falschen Schlüssen führen. Um das zu vermeiden, sollte bei Versuchspersonen, die nach einmaliger Kälteprovokation mit Fingertemperaturkontrolle den Hinweis auf eine pathologische Gefäßreaktion liefern, eine mehrmalige Wiederholung der Untersuchung an verschiedenen Tagen vorgenommen werden.
3. Es ist wichtig darauf zu achten, daß die Fingerausgangstemperatur (T_{HO}) der Versuchspersonen 28°C möglichst nicht unterschreitet, da die T_{HO} das vasomotorische Verhalten der Finger im weiteren Versuchsverlauf beeinflusst. **WOELKE-SEIDL (1982)** empfiehlt deshalb, dem KPT eine normierte Kreislaufbelastung voranzustellen, um so eine thermoregulatorisch-einheitliche Ausgangsposition der Versuchspersonen zu gewährleisten. Da oftmals nur einzelne Finger eine pathologische Gefäßreaktion zeigen, sollte die Kälteprovokation mit Fingertemperaturmessung stets an allen Fingern vorgenommen werden.
4. Bei der Durchführung des Kälteprovokationstestes ist auf eine strenge Standardisierung der Versuchsbedingungen und des Versuchsablaufes zu achten, um sowohl einen intraindividuellen als auch einen interindividuellen Vergleich der Ergebnisse zu gewährleisten. Es hat sich bewährt, die Untersuchungen in einem geschlossenen Raum bei einer Raumtemperatur von $20 - 23^{\circ}\text{C}$ durchzuführen. Zur Kälteprovokation erwies sich ein Wasserband von $+ 15^{\circ}\text{C}$ mit 1-minütiger Expositionszeit der Hände als hinlänglich geeignet. Als Beurteilungskriterium für die zeitabhängige Wiedererwärmung der Fingerkuppen nach der KP ist der Zeitpunkt, an dem die Fingerkuppentemperatur 28°C überschreitet, zu empfehlen, da sich dieses Beurteilungsverfahren durch eine einfache Handhabung ohne aufwendige Berechnung auszeichnet.

5. Der Vergleich zwischen den der Temperaturmessung zugrundeliegenden Verfahren der Infrarot-Thermographie und der Fingerkuppen-Thermometrie zeigt, daß die IRT eine bessere Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ermöglicht, da hier Fehlerquellen, mit denen die FKT behaftet ist, ausgeschaltet werden können. Die IRT und die FKT führen jedoch hinsichtlich der in dieser Studie angelegten Maßstäbe zu einer weitgehend identischen Beurteilung der mit beiden Verfahren untersuchten Versuchsperson. Somit kann auch die FKT zur Fingerkuppentemperaturmessung während des KPT bedenkenlos verwendet werden. Die FKT hat zudem den Vorteil, daß sie das kostenmäßig wesentlich günstigere Verfahren ist.

6. Zusammenfassung

Die Aufgabe dieser Studie bestand darin festzustellen, inwieweit die durch die Kälteprovokation hervorgerufenen vasomotorischen Reaktionen der peripheren Fingergefäße intraindividuellen Schwankungen unterliegen und ob zwischen den Versuchspersonen in Bezug auf die intraindividuellen Schwankungen Unterschiede bestehen. Zu diesem Zweck wurde an 9 gesunden, nicht vibrationsbelasteten männlichen Versuchspersonen eine 8-malige Wiederholung eines standardisierten Kälteprovokationstestes (1 Minute; 15°C) durchgeführt. Die Temperaturkontrolle erfolgte bei der einen Hälfte der VPn mittels der Fingerkuppen-Thermometrie, bei der anderen Hälfte mit Hilfe der Infrarot-Thermographie. Um eventuelle Unterschiede zwischen den beiden Verfahren feststellen zu können, wurden bei einer Versuchsperson die Messungen sowohl mit der IRT als auch mit der FKT durchgeführt.

Bei allen 9 VPn konnte der Fingertemperaturverlauf während des KPT in 3 Phasen unterteilt werden. In der 1. Phase kommt es durch die Kälteprovokation zu einer Vasokonstriktion der Fingerarterien, was einen Abfall der Fingertemperatur zur Folge hat. Durch eine reflektorische Vasodilatation dieser Arterien kommt es in der nachfolgenden 2. Phase des FTV zu einem Anstieg der Fingertemperatur. Während der 3. Phase, die bis zum Versuchsende andauert, zeigt die Fingerkuppentemperatur nur noch geringe zeitabhängige Veränderungen.

Die 9 VPn konnten aufgrund ihrer intraindividuellen Schwankungen in drei, hinsichtlich des thermoregulatorischen Verhaltens unterschiedliche, Typen eingeteilt werden.

Der Typ A zeigt in allen 3 Phasen des FTV nur geringe intraindividuelle Schwankungen und weist somit eine stabile Thermoregulation auf. VPn vom Typ A erreichen bis zur 8. Minute

an allen Fingern, sowohl unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichungen als auch mit dem Minimum des Vertrauensbereiches, Temperaturwerte von $> 28^{\circ}\text{C}$.

Der Typ B überschreitet innerhalb des Zeitintervalls zwischen der 8. und der 30. Minute an allen Fingern, sowohl mit dem Minimum des VB als auch unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung, die 28°C -Grenze. Bei diesem Typ liegen in der 2. Phase des Fingertemperaturverlaufes große intraindividuelle Schwankungen vor, die jedoch in der 3. Phase stark abnehmen.

Bei Typ C liegen in allen 3 Phasen des Fingertemperaturverlaufes große intraindividuelle Schwankungen vor und auch die Ausgangstemperaturen für die Finger der Versuchspersonen des Types C weisen größere Schwankungen auf als die der Typen A und B. VPn vom Typ C gelingt es während des gesamten KPT weder unter Berücksichtigung der negativen Standardabweichung noch mit dem Minimum des VB an allen Fingern eine Temperatur von $> 28^{\circ}\text{C}$ zu erreichen. Sie zeigen ein labiles thermoregulatorisches Verhalten.

Anhand der Versuchsergebnisse konnten 4 Versuchspersonen dem Typ A, 4 weitere dem Typ B und 1 Versuchsperson dem Typ C zugeordnet werden, wobei sich zeigte, daß eine nur einmalige Durchführung des KPT bei VPn mit einer labilen, aber keineswegs pathologischen Thermoregulation (= Typ C), zu falschen Ergebnissen führen kann. Aus diesem Grund wird empfohlen, VPn, bei denen nach einmaliger Kälteprovokation mit Fingertemperaturbestimmung der Verdacht auf eine pathologische Gefäßreaktion vorliegt, einer mehrmaligen Wiederholung des Versuches zu unterziehen. Nur dadurch ist es möglich, VPn mit einer labilen Thermoregulation von VPn mit pathologischen Veränderungen der Gefäßreaktion zu unterscheiden.

Der Vergleich der beiden Meßmethoden ergab, daß die Infrarot-Thermographie aufgrund einer besseren Reproduzierbarkeit Ergebnisse mit einer geringeren Streubreite und einem kleineren Vertrauensbereich liefert. Die Fingerkuppen-Thermometrie erwies sich jedoch trotz der generell größeren Streubreiten und des größeren Vertrauensbereiches bei den in dieser Arbeit vorgenommenen Messungen als völlig ausreichend.

7. Literaturverzeichnis

- AGATE, J.N.: An outbreak of cases of Raynaud's phenomenon of occupational origin. Brit.J.Ind.Med. 6, 144-163 (1949)
- ARAKI, S., HOMMA, T., AOYAMA, K.: Peripheral nerve conduction velocities in chain-saw operators. Jap.J.Ind.Health 18, 516-520 (1976)
- ASHE, W.F., COOK, W.T., OLD, J.W.: Raynaud's phenomenon of occupational origin. Archiv Environm.Health 5, 333-343 (1962)
- BANISTER, P.A., SMITH, F.V.: Vibration induced white fingers and manipulative dexterity. Brit.J.Ind.Med. 29, 264 (1972)
- BARNES, R.B.: Thermography of the human body. Science 140, 870 (1963)
- BMA: Merkblätter für die ärztliche Untersuchung zu der Nr. 2104 der Anlage 1 zur Berufskrankheitenverordnung (BeKV). Bek. des BMA von 10.7.1979
- BOAS, N.F.: Thermography in rheumatoid arthritis. Ann. N.Y. Acad.Sci. 121, 223 (1964)
- BRUBAKER, R.L., MACKENZIE, C.J.G., ENG, P.R., BATES, D.V.: Vibration white finger disease among tree fellers in British Columbia. J.of Occup.Med. 5, 403-408 (1983)
- CHANG, C.-P.: Cold water immersion test in patients with vibration disease. Jap.J.Ind.Health 18, 453-463 (1976)
- CHIANG WU YING: Studies on the diagnostic method of "white fingers" induced by industrial vibration. Hirosaki Univ. (orig.jap.) (1979)
- CROSETT, L., CASALONE, E., MEDA, E.: Ergonomische Beurteilung verschiedener modifizierter Preßluftschlämmer. Tech.Ber.Nr. 16, Europ.Gem.Kohle und Stahl 1522/74 RCE (1974)
- COSH, J.A., RING, E.F.J.: Techniques of heat detection used in the assessment of rheumatic diseases. J.Radiol. Electrol. 48, 84 (1967)
- DUPUIS, H., HARTUNG, E., HEINZ, M., WEICHENRIEDER, A.: Biomechanisches Verhalten, Muskelreaktion und periphere Durchblutung des Hand-Arm-Systemes unter Schwingungsbelastung. Arbeiten aus dem MPI für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach, A-76-2, 1-135 (1976)

- DUPUIS, H., WEICHENRIEDER, A.: Beeinflussung der peripheren Hautdurchblutung durch mechanische Schwingungen und Lärm. Ber. über d. 17. Jahrestag. d. Dt. Gesellsch. f. Arbeitsmedizin e.v., Kiel, Gentner Stuttgart, 159-168 (1977)
- DUPUIS, H.: Untersuchung zu vibrationsbedingten Durchblutungsstörungen der Hände. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften 11, 6-165 (1986)
- DUPUIS, H.: Wirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm-System - Literaturanalyse - BAU-Forschungsbericht 308 (1982)
- DUPUIS, H.: Das Vibrationsbedingte Vasospastische Syndrom VVS. Zbl.f.Arbeitsmed. 8, 226-231 (1985)
- ELLIS, R.A.: The Epidermis, Academic Press, New York, 135 (1964)
- FISCHER, M.: Thermographische Untersuchungen von Metallimplantaten (Klinische und experimentelle Studie). Diss., Essen (1976)
- GEERLING, A.: Thermographische Untersuchungen an der gesunden und kranken Hand. Diss., Essen (1975)
- GERSHON-COHEN, J., HABERMANN-BRUESCHKE, J.D., BRUESCHKE, E.E.: Medical thermography. J.Radiol.Electrol. 48, 12 (1967)
- GORSKI, S., FIBIGER, W.: Über eine thermographische Funktionsprüfung von Gefäßveränderungen in der Diagnostik der Vibrationskrankheit. Med.Pracy 30, 3, 213-220 (1979)
- GROS, Ch., BUTZ, J.M., DALADOUIRE, P., DIRHEIMER, Y., GILLIOT, M., SINGER, S., WAILLE, Y., BOURJAT, P.: Thermographie des affections rhumatismales de la main et du poignet. Rhumatologie 20, 51 (1968)
- HARADA, N. et al.: Seasonal variation of circulatory and sensory functions during immersion test in cold water for vibration syndrome. Jap.J.Industr.Health. 25, 422-431 (1983)
- HABERMANN, J.D., EHRLICH, G.E., LEVENSON, C.: Thermography in rheumatic diseases. Arch.Phys.Med. 49, 187 (1968)
- HARDY, J.D.: Summary review of the influence of thermal radiation on human skin. U.S. Naval Air Development Center, Rept., No.: NADC-Ma-5415. Johnsville/Pansilv. (1954)
- HELLSTRÖM, B., STENSVD, I., HALVORSRUD, J.R., VIK, T.: Finger blood circulation in forest workers with raynaud phenomena of occupational origin. Int.Z.angew.Physiol. 29, 18-28 (1970)

- HELLSTRÖM, B., LANGE ANDERSON, K.: Vibration injuries in Norwegian forest workers. Brit.J.Industr.Med. 29, 255-263 (1972)
- HORVATH, F., SZTANKAY, Cs., KAKOSSY, T.: Angiographische Untersuchungen vibrationsbewirkter Gefäßveränderungen. Röntgenfortschr. 113, 2, 164-169 (1970)
- ITOH, N., KASAMATSU, T., MATSUMOTO, K., IWATA, H.: A comparative study of the vibration disease among chain saw, piston-operated tool and rotating tool operators. Jap.J.Ind.-Health 19, 38-45 (1977)
- IWATA, H., KATAGIRI, Y., OHSHIMA, K.: Skin temperature and hyperemia time measurement by nail press procedure in detecting abnormality of dynamics of peripheral circulation in the vibration disease. Jap.J.Ind.Health 16, 463-468 (1974)
- JANCIK, G.: Durchblutungsstörungen der Hände durch Vibration bei Holz- und Metallarbeitern. Ber. 13.Kongr.f.Arbeitschutz u.Arbeitsmed., Düsseldorf, 542-545 (1973)
- KLOSTERKÖTTER, W.: Änderung der peripheren Durchblutung bei Arbeiten mit Motorsägen. Inst.f.Hygiene u.Arbeitsmed., Essen, Forsch.Ber. V 8, 1-112 (1974)
- KLÜKEN, N.: Regulationsmechanismen der Mikrozirkulation an den Akren. 2. Europ.Konf.Mikrozirkulation, Pavia (1962)
- KNIEB, H.: Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen der Hände bei Gußputzern. Moderne Unfallverh. 25, 97-102 (1981)
- KOOB, E., SCHLEGEL, K.F.: Die Bedeutung der Thermographie bei der Beurteilung und Behandlung der primär chronischen Polyarthrit. Beitr.Orthop.Traum. 18, 1 (1971)
- KOOB, E.: Die Infrarotthermographie in der Orthopädie (Eine experimentelle und klinische Studie). Habil.Schr., Bochum (1971)
- KOTANI, A., MIYATA, S., IWATA, H.: Vibratory sense threshold of chain-saw operators. Jap.J.Hygiene 31, 583-588 (1976)
- KRAMER, K.: Vegetative Physiologie. Urban und Schwarzenberg 2, 250-266 (1980)
- KROEBEL, W., VANSELOW, K.: Die Registrierung der Feinstruktur der Wärmestrahlung des menschlichen Körpers. Z.angew.Physik 11, 1 (1959)

- KROEBEL, W., VANSELOW, K.: Aufbau und Wirkungsweise einer Strahlungsmeßanordnung zur Messung der Feinstruktur der Körperstrahlung des Menschen. Z.angew.Physik 13, 322 (1961)
- LANG, F.: Pathophysiologie/Pathobiochemie. Enke Verlag, 2.Aufl., 256-262 (1983)
- LANGAUER-LEWOWICKA, H.: Immunologic studies on the pathogenesis of raynaud's phenomenon in vibration disease. Int.Arch Occup.Environm.Health 36, 209-216 (1976)
- LAWSON, R.N.: Thermography - a new tool in the investigation of breast lesions. Serv.med.J. 13, 517 (1957)
- LIDSTRÖM, I.-M.: Periphere Kreislauf- und Nervenfunktionsstörungen bei Personen, die Vibrationswirkungen über die Hände ausgesetzt sind. Arbeitsmed., Sozialmed., Präventiv-med. 11, 242-244 (1974)
- MAGOS, L., OKOS, G.: Raynaud's phenomenon. The situation in the Hungarian iron steel and engineering industry. Arch. Environm.Health 7, 341-345 (1963)
- MATOKA, T., KUSUMOTO, H., KUWAHARA, H., INANAGA, K., ESAKI, K.: Pathophysiology of vibration disease. Jap.J. Ind.Health 17, 12-18 (1975)
- MATOKA, T., KUSUMOTO, H., MIZUKI, Y., YAMADA, K.: Comparative double-blind trial of dl- α -tocopheryl nicotinate on vibration disease. Tohoku J.Exp.Med. 123, 67-75 (1977)
- MATSUMOTO, T., et al.: Mailmen's vibration hazards induced by the labor of motorcycle riding. Ind.Health 20, 167-175 (1982)
- MEYER-BRODNITZ, WOLLHEIM, E.: Kappillarfunktionsstörungen als Berufskrankheit durch Schuhanklopfmaschinen. Zbl.f.Gewerbehygiene 6, 270-276 (1929)
- NIELSEN, S.L., OLSEN, N.P.: Assessment of vibration induced white fingers. Ugeskr.Laeg. 142, 49, 3237-3243 (1980)
- OLSEN, N.P., NIELSEN, S.L.: Vibration induced white fingers in Danish quarrymen. Ugeskr. Laeg 142, 49, 3243-3247 (1980)
- OLSEN, N.P., NIELSEN, S.L., VOSS, P.: Cold response of digital arteries in chain saw operators. British J. of Ind. Med. 39, 82-88 (1982)

- PELLEGRINI, P., MARTINES, G., LONGHINI, C., MUSACCI, G.F., ANTONIOLI, G., COLAMUSSI, V.: A study of the anatomical substrate of occupational microangiopathy caused by vibrating instruments. *Med. Lavoro* 59, 180-208 (1968)
- PYYKKÖ, I., HYVÄRINEN, J.: The physiological basis of the traumatic vasospastic disease: a sympathetic vasoconstrictor reflex triggered by high frequency vibration? *Work Environm.Health* 10, 36-47 (1973)
- RAFALSKI, H., BERNACKI, B., SWITONIAK, T.: The diagnosis and epidemiology of vibration disease and hearing impairment in motor sawyers. *Proc.Int.Occup.Hand-Arm Vibr.Conf., NIOSH* 77-170, 84-88 (1977)
- SAITO, K. NIIOKA, I., FUJIMOTO, S., KUMASHIRO, M.: Studies on the propriety of the items adopted for the special health examination of vibration hazards at present. *Jap.J.Ind. Health* 22, 355-367 (1980)
- SAKAKIBARA, H. et al.: Cold water immersion test for diagnosis of vibration diseases. *Jap.J.Ind.Health* 24, 672-686 (1982)
- SCHMIDT, R.F., THEWS, G.: Einführung in die Physiologie des Menschen. Springer, 20. Ausg. (1980)
- SCHOEBERL, T.: Fingerkuppentemperaturmessungen zur Diagnose des Vibrationsbedingten Vasospastischen Syndroms. Diss., Univ. Mainz (1987)
- SCHROETER, E.: Physiologische Ursachen und pathologische Auswirkungen von Vibration und Lärm auf den Organismus des Waldarbeiters. *Mitteil.,Forstl.Vers.u.Forsch.Anst.Baden-Württemberg, Freiburg*, 95, 1-126 (1981)
- SEPPÄLÄINEN, A.M.: Nerve conduction in the vibration syndrome. *Work Environm.Health* 7, 17, 82-84 (1970)
- SHIOMI, S., MIYASHITA, K., KASAMATSU, T., ITOH, N., IWATA, H.: A study on the peripheral circulatory function and on the cold pressor response in chain saw operators. *Jap.J.Ind.Health* 2, 3, 163-168 (1980)
- SILBERNAGEL, S., DESPOPOULOS, A.: Taschenatlas der Physiologie. Thieme, 2. Aufl., 10 (1983)
- SIVERTSSON, R., LJUNG, B.: Vibration-induced changes in vascular tone. *Acta Chir.Scand.(Suppl.)* 465, 20-22 (1976)
- STEWART, A.M., GODA, D.F.: Vibration syndrome. *Brit.J.Ind.-Med.* 27, 19-27 (1970)

- SUZUKI, K. et al.: The hand and environment (2). Physiological changes of digital functions between two age groups by cold water immersions and climatic conditions. J.UOEH 3, 4, 347-362 (1981)
- SUZUKI, K. et al.: The hand and environment. Physiological changes of digital functions in female teenagers studied by vibratory stimulations and a cold water immersion. J.UOEH 4, 1, 33-40 (1982)
- TAYLOR, W., PELMEAR, P.L., PEARSON, J.: Raynaud's phenomenon in forestry chain saw operators. In: The vibration syndrome, ed. by TAYLOR, W., Acad.Press London 121-139 (1974)
- TAYLOR, W., PEARSON, J.C.G., KEIGHLEY, G.D.: A longitudinal study of raynaud's phenomenon in chain saw operators. Proc.Int.Occup.Hand-Arm Vibr.Conf., NIOSH 77-170, 69-76 (1977)
- TISELIUS, P.: Studies on joint temperature, joint stiffness and muscle weakness in rheumatoid arthritis. Acta rheum. scand., Suppl. 14 (1969)
- VESTBO, J., MOUSTEN, I.: The time required for rewarming of fingers after provocation with cold comparison between crane drivers exposed to vibration and a control group. Ugeskr.Laeg. 145, 39, 3047-3050 (1983)
- VIITANEN, S.M., LAAKSONEN, A.L.: Thermography in juvenile rheumatoid arthritis. Acta rheum.scand. 16, 91 (1970)
- VOLTZ, H.: Unveröffentlichtes Vortragsmanuskript zur BK 2103 und BK 2104 (1980)
- WEICHENRIEDER, A.: Die Belastung des Menschen durch Hand-Arm-Vibrationen und Lärm sowie deren Auswirkungen auf die Hörfähigkeit und die Durchblutung der Hände. Diss., Techn. Univ.München, 1-211 (1977)
- WOELKE-SEIDEL, E.: Das Vibrationsbedingte Vasospastische Syndrom bei Waldarbeitern. Inaugural-Diss., Univ.Mainz, 1-153 (1982)

8. Abkürzungen und Begriffe

FKT	Fingerkuppen-Thermometrie
FTV	Fingertemperaturverläufe
IRT	Infrarot-Thermographie
KP	Kälteprovokation, in Form eines Kaltwasserbades (15°C, 1 min) der Hände, als Reiz für eine Verengung der peripheren Blutgefäße
KPT	Kälteprovokationstest, diagnostischer Funktionstest zur Thermoregulation der Haut der Hände
R1,L1	Daumen rechts bzw. links
R2,L2	Zeigefinger rechts bzw. links
R3,R3	Mittelfinger rechts bzw. links
R4,L4	Ringfinger rechts bzw. links
R5,L5	kleiner Finger rechts bzw. links
RP	Referenzpunkt für Hauttemperaturmessungen im Bereich der Fingerkuppen
T _{HO}	Fingertemperatur vor Kälteprovokation = Fingerausgangstemperatur
T _R	Raumtemperatur
T _W	Wassertemperatur
VP	Versuchsperson
VPn	Versuchspersonen
VVS	Vibrationsbedingtes Vasospastisches Syndrom, vibrationsbedingte periphere Durchblutungsstörung der Hände, Berufskrankheit Nr. 2104 nach der Liste der BeKV
VB	Vertrauensbereich
WEV	Wiedererwärmungsverlauf
$\bar{x} \pm s$	Arithmetischer Mittelwert $\pm$ Standardabweichung

9. A N H A N G

ZEIT (min.)	$\bar{x} \pm s$	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	$\bar{x}$	33,50°C	32,84°C	32,49°C	33,31°C	32,94°C	32,96°C	33,20°C	32,49°C	32,95°C	33,10°C
	s	1,22°C	1,22°C	2,02°C	1,40°C	1,62°C	2,09°C	1,20°C	1,84°C	1,30°C	1,07°C
3	$\bar{x}$	28,49°C	26,13°C	26,90°C	26,63°C	26,00°C	28,73°C	26,95°C	26,95°C	26,93°C	27,06°C
	s	2,65°C	2,10°C	2,62°C	2,28°C	1,84°C	2,62°C	2,78°C	2,46°C	1,99°C	2,75°C
4	$\bar{x}$	30,23°C	28,03°C	28,08°C	28,74°C	28,28°C	30,45°C	28,48°C	28,49°C	28,46°C	29,01°C
	s	2,92°C	2,95°C	3,16°C	3,30°C	3,03°C	3,18°C	3,38°C	2,76°C	2,90°C	3,12°C
6	$\bar{x}$	32,75°C	31,78°C	30,85°C	32,55°C	32,00°C	32,26°C	31,33°C	30,90°C	30,40°C	32,05°C
	s	1,51°C	2,50°C	3,37°C	2,04°C	2,96°C	2,46°C	3,48°C	2,98°C	3,07°C	2,45°C
8	$\bar{x}$	33,46°C	32,71°C	32,25°C	33,75°C	33,24°C	33,29°C	33,39°C	32,25°C	33,33°C	32,86°C
	s	1,02°C	2,20°C	2,40°C	0,66°C	1,92°C	1,60°C	1,28°C	1,59°C	0,61°C	1,44°C
10	$\bar{x}$	24,03°C	33,53°C	33,41°C	34,33°C	33,89°C	33,99°C	34,15°C	33,38°C	33,90°C	34,21°C
	s	0,73°C	0,94°C	1,01°C	0,39°C	0,94°C	0,88°C	0,55°C	0,78°C	0,61°C	0,68°C
12	$\bar{x}$	34,25°C	33,85°C	33,89°C	34,61°C	34,59°C	34,26°C	34,31°C	34,08°C	34,29°C	34,44°C
	s	0,79°C	0,66°C	0,70°C	0,44°C	0,49°C	0,85°C	0,68°C	0,62°C	0,63°C	0,62°C
14	$\bar{x}$	34,40°C	34,05°C	34,15°C	34,73°C	34,65°C	34,44°C	34,54°C	34,29°C	34,39°C	34,58°C
	s	0,85°C	0,76°C	0,68°C	0,43°C	0,45°C	0,84°C	0,64°C	0,55°C	0,63°C	0,61°C
16	$\bar{x}$	34,54°C	34,16°C	34,28°C	34,84°C	34,69°C	34,59°C	34,56°C	34,39°C	34,54°C	34,73°C
	s	0,84°C	0,74°C	0,78°C	0,50°C	0,50°C	0,81°C	0,74°C	0,61°C	0,63°C	0,67°C
18	$\bar{x}$	34,60°C	34,26°C	34,41°C	34,86°C	34,71°C	34,61°C	34,65°C	34,46°C	34,50°C	34,71°C
	s	0,79°C	0,70°C	0,73°C	0,50°C	0,50°C	0,85°C	0,77°C	0,73°C	0,55°C	0,67°C
20	$\bar{x}$	34,73°C	34,43°C	34,50°C	35,01°C	34,90°C	34,88°C	34,81°C	34,61°C	34,59°C	34,61°C
	s	0,67°C	0,52°C	0,74°C	0,48°C	0,51°C	0,68°C	0,69°C	0,63°C	0,56°C	0,57°C
22	$\bar{x}$	34,93°C	34,60°C	34,61°C	35,03°C	34,95°C	34,93°C	34,94°C	34,63°C	34,91°C	34,88°C
	s	0,61°C	0,46°C	0,59°C	0,32°C	0,42°C	0,61°C	0,64°C	0,51°C	0,40°C	0,47°C
24	$\bar{x}$	35,01°C	34,61°C	34,73°C	35,06°C	35,08°C	35,01°C	35,03°C	34,75°C	34,91°C	34,96°C
	s	0,61°C	0,50°C	0,61°C	0,45°C	0,50°C	0,59°C	0,55°C	0,58°C	0,47°C	0,47°C
26	$\bar{x}$	35,01°C	34,61°C	34,69°C	35,08°C	35,03°C	35,00°C	34,98°C	34,76°C	34,84°C	34,94°C
	s	0,55°C	0,44°C	0,47°C	0,38°C	0,39°C	0,53°C	0,53°C	0,47°C	0,46°C	0,50°C
28	$\bar{x}$	35,13°C	34,78°C	34,74°C	35,11°C	34,98°C	35,08°C	35,05°C	34,80°C	34,84°C	34,95°C
	s	0,60°C	0,51°C	0,55°C	0,48°C	0,61°C	0,55°C	0,61°C	0,51°C	0,47°C	0,43°C
30	$\bar{x}$	35,10°C	34,86°C	34,85°C	35,13°C	35,03°C	34,95°C	35,13°C	34,89°C	34,95°C	35,01°C
	s	0,69°C	0,54°C	0,62°C	0,63°C	0,58°C	0,68°C	0,59°C	0,54°C	0,45°C	0,49°C

Tab. 5: Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s) der Fingerkuppentemperatur aus jeweils 8 Kälteprovokationstests für die Finger L1 - L5 und R1 - R5 während der 30minütigen Versuchsdauer für VP 1

ZEIT (min.)	VB	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	MIN	32,48°C	31,82°C	30,80°C	32,14°C	31,58°C	31,22°C	32,19°C	30,95°C	31,87°C	32,20°C
	MAX	34,52°C	33,85°C	34,18°C	34,49°C	34,30°C	34,71°C	34,21°C	34,03°C	34,03°C	34,00°C
3	MIN	26,28°C	24,37°C	24,71°C	24,72°C	24,46°C	26,36°C	24,63°C	24,89°C	25,26°C	24,76°C
	MAX	30,70°C	27,88°C	29,09°C	28,53°C	27,54°C	31,09°C	29,27°C	29,01°C	28,59°C	29,36°C
4	MIN	27,79°C	25,56°C	25,44°C	25,98°C	25,74°C	27,79°C	25,70°C	26,18°C	26,04°C	26,40°C
	MAX	32,66°C	30,49°C	30,71°C	31,50°C	30,81°C	33,11°C	31,25°C	30,79°C	30,89°C	31,62°C
6	MIN	31,49°C	29,69°C	28,04°C	30,84°C	29,52°C	30,21°C	28,42°C	28,41°C	27,83°C	30,00°C
	MAX	34,01°C	33,86°C	33,66°C	34,26°C	34,48°C	34,32°C	34,23°C	33,39°C	32,97°C	34,10°C
8	MIN	32,61°C	30,88°C	30,25°C	33,20°C	31,63°C	31,95°C	32,32°C	30,92°C	32,82°C	31,66°C
	MAX	34,32°C	34,55°C	34,25°C	34,30°C	34,84°C	34,62°C	34,45°C	33,58°C	33,83°C	34,07°C
10	MIN	33,42°C	32,74°C	32,57°C	34,01°C	33,11°C	33,26°C	33,69°C	32,73°C	33,57°C	33,65°C
	MAX	34,63°C	34,31°C	34,26°C	34,64°C	34,67°C	34,72°C	34,61°C	34,02°C	34,23°C	34,78°C
12	MIN	33,59°C	33,30°C	33,30°C	34,25°C	34,18°C	33,55°C	33,75°C	33,56°C	33,77°C	33,92°C
	MAX	34,91°C	34,40°C	34,47°C	34,98°C	34,99°C	35,14°C	35,07°C	34,74°C	34,91°C	34,95°C
14	MIN	33,70°C	33,42°C	33,58°C	34,37°C	34,28°C	33,74°C	34,00°C	33,83°C	33,87°C	34,07°C
	MAX	35,10°C	34,68°C	34,72°C	35,08°C	35,02°C	35,14°C	35,07°C	34,74°C	34,91°C	35,08°C
16	MIN	33,84°C	33,55°C	33,63°C	34,42°C	34,27°C	33,92°C	33,63°C	33,88°C	33,92°C	34,17°C
	MAX	35,24°C	34,78°C	34,92°C	35,25°C	35,10°C	35,26°C	35,17°C	34,89°C	35,15°C	35,28°C
18	MIN	33,95°C	33,68°C	33,81°C	34,41°C	34,33°C	33,90°C	34,01°C	33,94°C	34,02°C	34,16°C
	MAX	35,25°C	34,84°C	35,02°C	35,32°C	35,12°C	35,32°C	35,02°C	34,99°C	34,98°C	35,27°C
20	MIN	34,17°C	33,99°C	33,89°C	34,62°C	34,48°C	34,31°C	34,24°C	34,09°C	34,12°C	34,34°C
	MAX	35,28°C	34,86°C	35,11°C	35,41°C	35,32°C	35,44°C	35,38°C	35,13°C	35,06°C	35,29°C
22	MIN	34,42°C	34,22°C	34,12°C	34,76°C	34,61°C	34,42°C	34,41°C	34,21°C	34,58°C	34,49°C
	MAX	35,43°C	34,98°C	35,10°C	35,29°C	35,29°C	35,43°C	35,47°C	35,04°C	35,25°C	35,26°C
24	MIN	34,51°C	34,20°C	34,22°C	34,69°C	34,67°C	34,53°C	34,57°C	34,27°C	34,52°C	34,57°C
	MAX	35,52°C	35,02°C	35,23°C	35,44°C	35,48°C	35,50°C	35,48°C	35,23°C	35,30°C	35,35°C
26	MIN	34,56°C	34,25°C	34,30°C	34,76°C	34,70°C	34,56°C	34,54°C	34,38°C	34,46°C	34,52°C
	MAX	35,46°C	34,97°C	35,08°C	35,39°C	35,35°C	35,44°C	35,41°C	35,15°C	35,22°C	35,35°C
28	MIN	34,63°C	34,35°C	34,28°C	34,71°C	34,47°C	34,62°C	34,55°C	34,38°C	34,45°C	34,60°C
	MAX	35,62°C	35,20°C	35,19°C	35,51°C	35,48°C	35,53°C	35,55°C	35,22°C	35,22°C	35,30°C
30	MIN	34,52°C	34,42°C	34,33°C	34,61°C	34,55°C	34,39°C	34,64°C	34,44°C	34,55°C	34,61°C
	MAX	35,68°C	35,31°C	35,37°C	35,64°C	35,50°C	35,31°C	35,61°C	35,33°C	35,32°C	35,42°C

Tab. 6: Vertrauensbereiche (VB) der Fingertemperaturverläufe von L1 - R5 für VP 1

ZEIT (min.)	$\bar{x} \pm s$	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	$\bar{x}$	32,03°C	31,57°C	32,10°C	32,01°C	32,06°C	32,30°C	32,26°C	32,00°C	31,99°C	31,53°C
	s	0,75°C	1,27°C	1,02°C	0,84°C	0,98°C	0,83°C	0,83°C	0,91°C	1,21°C	0,62°C
3	$\bar{x}$	27,57°C	26,98°C	27,26°C	27,73°C	27,10°C	29,51°C	28,66°C	28,39°C	29,04°C	28,67°C
	s	1,76°C	1,75°C	1,62°C	2,16°C	1,97°C	1,85°C	1,80°C	1,75°C	1,81°C	1,52°C
4	$\bar{x}$	29,51°C	28,86°C	29,11°C	29,73°C	30,04°C	31,26°C	30,71°C	30,14°C	30,84°C	30,74°C
	s	1,75°C	2,05°C	2,40°C	2,47°C	2,52°C	1,39°C	1,72°C	1,79°C	1,87°C	1,25°C
6	$\bar{x}$	32,21°C	31,67°C	31,91°C	31,84°C	31,99°C	32,79°C	32,37°C	33,04°C	32,51°C	32,43°C
	s	1,02°C	1,22°C	1,33°C	1,45°C	1,50°C	0,87°C	1,11°C	1,02°C	0,91°C	0,80°C
8	$\bar{x}$	32,81°C	32,09°C	32,43°C	32,37°C	32,50°C	32,09°C	32,43°C	32,51°C	32,84°C	32,49°C
	s	0,91°C	1,05°C	1,12°C	1,16°C	1,17°C	0,73°C	0,86°C	0,82°C	0,68°C	0,63°C
10	$\bar{x}$	33,19°C	32,36°C	32,77°C	32,73°C	32,74°C	33,30°C	32,99°C	32,74°C	33,01°C	32,74°C
	s	0,92°C	1,09°C	1,18°C	1,27°C	1,16°C	0,80°C	1,12°C	0,91°C	0,80°C	0,71°C
12	$\bar{x}$	33,31°C	32,63°C	33,03°C	33,03°C	33,04°C	33,40°C	33,30°C	32,94°C	33,20°C	32,99°C
	s	0,74°C	0,98°C	1,13°C	1,02°C	1,15°C	0,77°C	0,79°C	0,79°C	0,77°C	0,68°C
14	$\bar{x}$	33,51°C	32,67°C	33,09°C	33,11°C	33,17°C	33,59°C	33,39°C	33,07°C	33,27°C	33,17°C
	s	0,65°C	0,97°C	0,96°C	1,08°C	1,13°C	0,75°C	0,81°C	0,82°C	0,75°C	0,74°C
16	$\bar{x}$	33,67°C	32,90°C	33,31°C	33,30°C	33,17°C	33,71°C	33,49°C	33,34°C	33,41°C	33,29°C
	s	0,65°C	0,93°C	0,89°C	0,87°C	0,86°C	0,69°C	0,75°C	0,80°C	0,71°C	0,71°C
18	$\bar{x}$	33,74°C	32,79°C	33,33°C	33,47°C	33,40°C	33,80°C	33,50°C	33,36°C	33,43°C	33,19°C
	s	0,56°C	0,93°C	0,93°C	1,07°C	1,08°C	0,59°C	0,80°C	0,71°C	0,62°C	0,72°C
20	$\bar{x}$	33,84°C	33,00°C	33,47°C	33,64°C	33,49°C	33,96°C	33,71°C	33,51°C	33,54°C	33,26°C
	s	0,37°C	0,52°C	0,62°C	0,82°C	0,92°C	0,43°C	0,51°C	0,45°C	0,53°C	0,51°C
22	$\bar{x}$	33,94°C	33,37°C	33,69°C	33,87°C	33,69°C	34,07°C	33,89°C	33,76°C	33,79°C	33,57°C
	s	0,70°C	0,88°C	0,87°C	0,92°C	0,93°C	0,60°C	0,65°C	0,66°C	0,75°C	0,71°C
24	$\bar{x}$	33,90°C	33,13°C	33,63°C	33,71°C	33,59°C	33,99°C	33,77°C	33,70°C	33,69°C	33,49°C
	s	0,59°C	0,84°C	0,88°C	1,00°C	1,09°C	0,65°C	0,64°C	0,65°C	0,63°C	0,67°C
26	$\bar{x}$	33,91°C	33,17°C	33,51°C	33,63°C	33,56°C	34,00°C	33,76°C	33,71°C	33,57°C	33,36°C
	s	0,74°C	1,00°C	1,02°C	1,15°C	1,25°C	0,70°C	0,74°C	0,71°C	0,75°C	0,80°C
28	$\bar{x}$	34,06°C	33,31°C	33,80°C	33,83°C	33,50°C	34,11°C	33,87°C	33,84°C	33,76°C	33,51°C
	s	0,49°C	0,78°C	0,77°C	0,98°C	1,05°C	0,57°C	0,63°C	0,77°C	0,98°C	0,50°C
30	$\bar{x}$	34,16°C	33,44°C	33,90°C	33,94°C	33,84°C	34,24°C	33,99°C	33,94°C	33,87°C	33,71°C
	s	0,45°C	0,88°C	0,88°C	0,87°C	0,98°C	0,60°C	0,64°C	0,59°C	0,67°C	0,64°C

Tab. 7: Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s) der Fingerkuppentemperatur aus jeweils 8 Kälteprovokationstests für die Finger L1 - L5 und R1 - R5 während der 30minütigen Versuchsdauer für VP 2

ZEIT (min.)	VB	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	MIN	31,34°C	30,40°C	31,16°C	31,24°C	31,16°C	31,53°C	31,50°C	31,16°C	30,87°C	31,26°C
	MAX	32,72°C	32,74°C	33,04°C	32,79°C	32,96°C	33,07°C	33,02°C	32,84°C	33,11°C	32,39°C
3	MIN	25,95°C	25,27°C	25,76°C	25,73°C	25,28°C	27,81°C	26,99°C	26,77°C	27,37°C	29,59°C
	MAX	29,20°C	28,50°C	28,76°C	29,73°C	28,92°C	31,22°C	30,32°C	30,01°C	30,72°C	30,08°C
4	MIN	27,90°C	26,96°C	26,90°C	27,45°C	27,71°C	29,97°C	29,13°C	28,49°C	29,12°C	29,59°C
	MAX	31,13°C	30,76°C	31,33°C	32,01°C	32,38°C	32,54°C	32,30°C	31,80°C	32,57°C	31,90°C
6	MIN	31,27°C	30,55°C	30,69°C	30,50°C	30,60°C	31,98°C	32,34°C	31,10°C	31,68°C	31,70°C
	MAX	33,16°C	32,80°C	33,14°C	33,19°C	33,37°C	33,59°C	33,40°C	32,99°C	33,19°C	33,16°C
8	MIN	31,98°C	31,11°C	31,39°C	31,30°C	31,42°C	32,50°C	32,07°C	31,76°C	32,22°C	31,90°C
	MAX	33,65°C	33,06°C	33,46°C	33,44°C	33,58°C	33,84°C	33,46°C	33,27°C	33,47°C	33,07°C
10	MIN	32,34°C	31,35°C	31,68°C	31,56°C	31,67°C	32,56°C	31,95°C	31,90°C	32,28°C	32,09°C
	MAX	34,04°C	33,37°C	33,86°C	33,90°C	33,82°C	34,04°C	34,02°C	33,58°C	33,75°C	33,40°C
12	MIN	32,64°C	31,73°C	31,99°C	32,09°C	31,98°C	32,69°C	32,57°C	32,23°C	32,49°C	32,18°C
	MAX	33,99°C	33,53°C	34,07°C	33,97°C	34,11°C	34,11°C	34,03°C	33,66°C	33,91°C	33,79°C
14	MIN	32,92°C	31,78°C	32,21°C	32,12°C	32,12°C	32,90°C	32,64°C	32,32°C	32,58°C	32,49°C
	MAX	34,11°C	33,57°C	33,96°C	34,11°C	34,22°C	34,27°C	34,13°C	33,82°C	33,96°C	33,95°C
16	MIN	33,08°C	32,05°C	32,50°C	32,50°C	32,38°C	33,08°C	32,80°C	32,61°C	32,76°C	32,64°C
	MAX	34,27°C	33,75°C	34,13°C	34,10°C	33,96°C	34,35°C	34,17°C	34,08°C	34,07°C	33,94°C
18	MIN	33,23°C	31,93°C	32,47°C	32,48°C	32,40°C	32,01°C	32,76°C	32,70°C	32,86°C	32,52°C
	MAX	34,26°C	33,64°C	34,19°C	34,46°C	34,40°C	34,35°C	34,24°C	34,01°C	33,99°C	33,85°C
20	MIN	33,50°C	32,53°C	32,91°C	32,89°C	32,64°C	33,57°C	33,24°C	33,11°C	33,06°C	32,79°C
	MAX	34,18°C	33,47°C	34,03°C	34,40°C	34,34°C	34,35°C	34,18°C	33,92°C	34,03°C	33,72°C
22	MIN	33,30°C	32,57°C	32,89°C	33,02°C	32,83°C	33,52°C	33,29°C	33,15°C	33,10°C	32,92°C
	MAX	34,59°C	34,18°C	34,48°C	34,72°C	34,55°C	34,63°C	34,48°C	34,36°C	34,47°C	34,22°C
24	MIN	33,36°C	32,35°C	32,82°C	32,80°C	32,57°C	33,39°C	33,18°C	33,11°C	33,11°C	32,87°C
	MAX	34,44°C	33,90°C	34,44°C	34,63°C	34,60°C	34,58°C	34,36°C	34,29°C	34,26°C	34,10°C
26	MIN	33,23°C	32,25°C	32,57°C	32,56°C	32,40°C	33,36°C	33,07°C	33,06°C	32,88°C	32,62°C
	MAX	34,60°C	34,09°C	34,46°C	34,70°C	34,72°C	34,64°C	34,44°C	34,37°C	34,26°C	34,09°C
28	MIN	33,25°C	32,27°C	32,55°C	32,54°C	32,38°C	33,38°C	33,09°C	33,04°C	32,89°C	32,65°C
	MAX	34,62°C	34,08°C	34,44°C	34,68°C	34,74°C	34,62°C	34,43°C	34,38°C	34,27°C	34,08°C
30	MIN	33,74°C	32,63°C	33,40°C	33,40°C	33,94°C	33,69°C	33,40°C	33,40°C	33,26°C	33,13°C
	MAX	34,57°C	34,25°C	34,71°C	34,75°C	34,75°C	34,79°C	34,57°C	34,49°C	34,48°C	34,30°C

Tab. 8: Vertrauensbereiche (VB) der Fingertemperaturverläufe von L1 - R5 für VP 2

ZEIT (min.)	$\bar{x} \pm s$	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	$\bar{x}$	33,88°C	33,53°C	33,60°C	34,34°C	33,69°C	34,19°C	33,68°C	33,64°C	33,60°C	33,63°C
	s	1,44°C	1,36°C	1,73°C	1,22°C	1,39°C	1,30°C	1,38°C	1,70°C	1,22°C	1,39°C
3	$\bar{x}$	26,75°C	26,01°C	26,61°C	26,99°C	26,04°C	27,83°C	26,01°C	26,26°C	26,04°C	25,93°C
	s	2,09°C	2,14°C	2,82°C	3,22°C	2,53°C	1,83°C	2,04°C	2,77°C	2,35°C	2,76°C
4	$\bar{x}$	28,25°C	27,48°C	27,94°C	28,51°C	27,06°C	29,85°C	27,26°C	27,31°C	27,46°C	27,18°C
	s	3,19°C	3,18°C	3,98°C	4,18°C	3,74°C	2,66°C	2,82°C	3,63°C	2,94°C	3,81°C
6	$\bar{x}$	31,24°C	31,06°C	31,40°C	31,89°C	29,64°C	32,34°C	30,16°C	29,81°C	30,44°C	29,90°C
	s	2,99°C	3,22°C	3,26°C	3,26°C	3,34°C	2,75°C	3,01°C	3,62°C	2,80°C	3,76°C
8	$\bar{x}$	33,15°C	32,83°C	32,90°C	33,51°C	32,36°C	33,39°C	32,43°C	31,91°C	32,36°C	31,84°C
	s	1,68°C	1,57°C	1,70°C	1,71°C	1,96°C	1,64°C	1,90°C	2,48°C	1,78°C	2,88°C
10	$\bar{x}$	33,68°C	33,46°C	33,51°C	33,91°C	33,29°C	33,89°C	33,29°C	33,13°C	33,31°C	32,88°C
	s	1,33°C	1,23°C	1,24°C	1,18°C	1,17°C	1,26°C	1,31°C	1,59°C	1,34°C	2,15°C
12	$\bar{x}$	33,80°C	33,46°C	33,51°C	33,98°C	33,44°C	33,91°C	33,49°C	33,30°C	33,43°C	33,34°C
	s	1,33°C	1,15°C	1,13°C	1,32°C	1,30°C	1,31°C	1,45°C	1,56°C	1,26°C	1,31°C
14	$\bar{x}$	34,04°C	33,48°C	33,66°C	34,26°C	33,76°C	34,08°C	33,54°C	33,48°C	33,56°C	33,49°C
	s	1,19°C	1,25°C	1,27°C	0,96°C	1,15°C	1,19°C	1,36°C	1,38°C	1,29°C	1,35°C
16	$\bar{x}$	34,31°C	33,64°C	33,84°C	34,49°C	33,98°C	34,28°C	33,84°C	33,75°C	33,74°C	33,80°C
	s	0,91°C	1,14°C	1,11°C	0,80°C	1,01°C	1,06°C	1,00°C	1,13°C	1,02°C	0,94°C
18	$\bar{x}$	34,33°C	33,84°C	34,00°C	34,50°C	33,93°C	34,30°C	33,85°C	33,79°C	33,75°C	33,79°C
	s	1,04°C	1,20°C	1,27°C	0,99°C	1,25°C	1,08°C	1,14°C	1,23°C	1,15°C	1,14°C
20	$\bar{x}$	34,43°C	34,06°C	34,16°C	34,59°C	33,96°C	34,48°C	33,93°C	33,91°C	33,88°C	33,85°C
	s	0,92°C	0,86°C	1,10°C	0,89°C	1,15°C	0,91°C	1,08°C	1,02°C	1,22°C	1,11°C
22	$\bar{x}$	34,26°C	33,87°C	33,84°C	34,24°C	33,61°C	34,33°C	33,83°C	33,80°C	33,54°C	33,64°C
	s	1,33°C	1,19°C	1,33°C	1,23°C	1,52°C	1,26°C	1,38°C	1,40°C	1,53°C	1,56°C
24	$\bar{x}$	34,36°C	33,90°C	33,90°C	34,27°C	33,74°C	34,26°C	33,90°C	33,70°C	33,74°C	33,53°C
	s	1,14°C	1,19°C	1,30°C	1,19°C	1,25°C	1,22°C	1,22°C	1,28°C	1,34°C	1,54°C
26	$\bar{x}$	34,47°C	33,86°C	34,10°C	34,49°C	34,03°C	34,59°C	34,00°C	34,03°C	33,91°C	33,74°C
	s	0,90°C	1,09°C	0,99°C	0,97°C	1,03°C	0,90°C	1,10°C	1,09°C	1,01°C	1,24°C
28	$\bar{x}$	34,59°C	34,09°C	34,20°C	34,69°C	34,16°C	34,69°C	34,13°C	34,09°C	34,01°C	33,81°C
	s	0,81°C	1,00°C	0,96°C	0,84°C	0,91°C	0,88°C	0,95°C	0,95°C	1,12°C	1,10°C
30	$\bar{x}$	34,53°C	33,89°C	34,06°C	34,56°C	33,90°C	34,57°C	34,01°C	33,97°C	33,73°C	33,86°C
	s	0,90°C	0,98°C	0,94°C	0,89°C	0,99°C	0,95°C	0,99°C	1,07°C	1,14°C	1,28°C

Tab. 9: Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s) der Fingertemperatur aus jeweils 8 Kälteprovokationstests für die Finger L1 - L5 und R1 - R5 während der 30minütigen Versuchsdauer für VP 3

ZEIT (min.)	VB	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	MIN	32,67°C	32,39°C	32,16°C	33,31°C	32,65°C	33,10°C	32,52°C	32,22°C	32,58°C	32,47°C
	MAX	35,08°C	34,66°C	35,04°C	35,36°C	34,72°C	35,27°C	34,83°C	35,06°C	34,62°C	34,78°C
3	MIN	25,00°C	24,22°C	24,25°C	24,29°C	23,92°C	26,29°C	24,31°C	23,95°C	24,47°C	23,62°C
	MAX	28,50°C	27,80°C	28,97°C	29,68°C	28,16°C	29,36°C	27,72°C	28,57°C	28,40°C	28,23°C
4	MIN	25,58°C	24,81°C	24,70°C	25,02°C	23,93°C	27,62°C	24,90°C	24,28°C	25,00°C	23,99°C
	MAX	30,92°C	30,14°C	31,18°C	32,01°C	30,19°C	32,08°C	29,62°C	30,35°C	29,92°C	30,36°C
6	MIN	28,74°C	28,37°C	28,67°C	29,16°C	26,85°C	30,04°C	27,64°C	26,79°C	28,10°C	26,76°C
	MAX	33,74°C	33,75°C	34,13°C	34,61°C	32,43°C	34,64°C	32,68°C	32,84°C	32,78°C	33,04°C
8	MIN	31,75°C	31,51°C	31,48°C	32,08°C	30,54°C	32,02°C	30,84°C	29,84°C	30,87°C	29,53°C
	MAX	34,55°C	34,14°C	34,32°C	34,94°C	33,81°C	34,76°C	34,01°C	33,98°C	33,85°C	34,34°C
10	MIN	32,56°C	32,43°C	32,47°C	31,79°C	32,19°C	32,83°C	32,19°C	31,79°C	32,19°C	31,07°C
	MAX	34,79°C	34,49°C	34,55°C	34,90°C	34,26°C	34,94°C	34,38°C	34,46°C	34,44°C	34,68°C
12	MIN	32,69°C	32,50°C	32,57°C	32,87°C	32,35°C	32,82°C	32,28°C	31,99°C	32,37°C	32,24°C
	MAX	34,91°C	34,42°C	34,45°C	35,08°C	34,53°C	35,00°C	34,70°C	34,61°C	34,48°C	34,43°C
14	MIN	33,04°C	32,43°C	32,60°C	33,47°C	32,80°C	33,08°C	32,40°C	32,32°C	32,49°C	32,36°C
	MAX	35,03°C	34,52°C	34,72°C	35,06°C	34,73°C	35,07°C	34,67°C	34,63°C	34,64°C	34,62°C
16	MIN	33,55°C	32,69°C	32,91°C	33,82°C	33,13°C	33,39°C	33,01°C	32,81°C	32,88°C	33,02°C
	MAX	35,07°C	34,59°C	34,77°C	35,15°C	34,82°C	35,16°C	34,67°C	34,69°C	34,59°C	34,58°C
18	MIN	33,46°C	32,83°C	32,93°C	33,67°C	32,88°C	33,40°C	32,89°C	32,76°C	32,79°C	32,83°C
	MAX	35,19°C	34,84°C	35,07°C	35,33°C	34,97°C	35,20°C	34,81°C	34,82°C	34,71°C	34,74°C
20	MIN	33,66°C	33,35°C	33,25°C	33,84°C	33,01°C	33,72°C	33,02°C	33,06°C	32,85°C	32,92°C
	MAX	35,19°C	34,78°C	35,08°C	35,33°C	34,92°C	35,23°C	34,83°C	34,77°C	34,90°C	34,78°C
22	MIN	33,14°C	32,88°C	32,73°C	33,21°C	32,34°C	33,28°C	32,67°C	32,63°C	32,26°C	32,34°C
	MAX	35,37°C	34,87°C	34,95°C	35,27°C	34,89°C	35,38°C	34,98°C	34,97°C	34,82°C	34,95°C
24	MIN	33,41°C	32,90°C	32,82°C	33,28°C	32,69°C	33,24°C	32,88°C	32,63°C	32,62°C	32,24°C
	MAX	35,31°C	34,90°C	34,98°C	35,26°C	34,79°C	35,27°C	34,92°C	34,77°C	34,86°C	34,81°C
26	MIN	33,72°C	32,94°C	33,28°C	33,68°C	33,17°C	33,83°C	33,08°C	33,12°C	33,07°C	32,70°C
	MAX	35,22°C	34,77°C	34,92°C	35,29°C	34,89°C	35,34°C	34,92°C	34,94°C	34,76°C	34,78°C
28	MIN	33,91°C	33,25°C	33,41°C	33,99°C	33,40°C	33,96°C	33,34°C	33,29°C	33,08°C	32,90°C
	MAX	35,26°C	34,92°C	34,99°C	35,38°C	34,91°C	35,42°C	34,92°C	34,88°C	34,95°C	34,73°C
30	MIN	33,78°C	33,07°C	33,27°C	33,81°C	33,08°C	33,78°C	33,19°C	33,08°C	32,78°C	32,79°C
	MAX	35,27°C	34,70°C	34,84°C	35,30°C	34,72°C	35,70°C	34,84°C	34,87°C	34,68°C	34,93°C

Tab.10: Vertrauensbereiche (VB) der Fingertemperaturverläufe von L1 - R5 für VP 3

ZEIT (min.)	$\bar{x} \pm s$	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	$\bar{x}$	32,60°C	31,49°C	32,11°C	32,61°C	31,98°C	32,79°C	32,38°C	32,21°C	32,61°C	32,31°C
	s	0,89°C	1,06°C	1,00°C	1,37°C	1,20°C	0,94°C	1,07°C	1,17°C	1,00°C	1,37°C
3	$\bar{x}$	28,03°C	25,29°C	26,39°C	27,44°C	25,78°C	28,76°C	27,46°C	27,16°C	28,18°C	27,95°C
	s	1,40°C	1,20°C	1,68°C	2,19°C	1,56°C	1,76°C	1,51°C	1,56°C	1,99°C	2,12°C
4	$\bar{x}$	29,33°C	26,15°C	28,13°C	29,05°C	27,63°C	30,33°C	28,78°C	28,53°C	29,74°C	29,86°C
	s	1,75°C	1,66°C	2,38°C	2,57°C	2,03°C	1,91°C	1,92°C	2,13°C	2,15°C	2,67°C
6	$\bar{x}$	31,86°C	29,26°C	31,28°C	32,10°C	31,21°C	32,46°C	31,19°C	31,21°C	32,13°C	32,29°C
	s	1,85°C	2,69°C	2,95°C	2,55°C	2,96°C	1,88°C	2,35°C	2,83°C	2,30°C	2,36°C
8	$\bar{x}$	33,05°C	31,21°C	32,83°C	33,48°C	32,54°C	33,51°C	32,65°C	32,71°C	33,30°C	33,35°C
	s	1,15°C	2,29°C	1,45°C	1,38°C	1,69°C	1,22°C	1,49°C	1,42°C	0,81°C	1,31°C
10	$\bar{x}$	33,13°C	31,61°C	32,99°C	33,51°C	32,90°C	33,73°C	32,96°C	32,99°C	33,64°C	33,35°C
	s	1,17°C	1,99°C	1,23°C	1,11°C	1,18°C	1,01°C	1,37°C	1,21°C	0,74°C	1,33°C
12	$\bar{x}$	33,60°C	32,28°C	33,61°C	33,93°C	33,49°C	33,96°C	33,50°C	33,45°C	33,90°C	33,79°C
	s	1,09°C	1,84°C	1,28°C	1,18°C	1,21°C	1,33°C	1,38°C	1,25°C	0,86°C	1,31°C
14	$\bar{x}$	33,88°C	32,90°C	33,70°C	34,11°C	33,83°C	34,13°C	33,79°C	33,70°C	34,00°C	33,86°C
	s	0,80°C	1,46°C	1,04°C	0,84°C	0,85°C	0,87°C	1,11°C	1,03°C	0,52°C	0,82°C
16	$\bar{x}$	33,90°C	33,14°C	33,85°C	34,15°C	33,81°C	34,33°C	34,04°C	33,86°C	34,19°C	34,04°C
	s	0,82°C	1,17°C	0,93°C	0,76°C	0,86°C	0,74°C	1,00°C	0,73°C	0,52°C	0,71°C
18	$\bar{x}$	34,11°C	33,38°C	34,04°C	34,39°C	34,05°C	34,49°C	34,15°C	34,01°C	34,34°C	34,01°C
	s	0,74°C	0,92°C	0,82°C	0,70°C	0,84°C	0,79°C	0,92°C	0,82°C	0,60°C	1,06°C
20	$\bar{x}$	34,14°C	33,33°C	33,93°C	34,38°C	34,14°C	34,45°C	34,16°C	33,96°C	34,38°C	34,04°C
	s	0,91°C	0,98°C	0,82°C	0,69°C	0,75°C	0,88°C	0,94°C	0,96°C	0,78°C	1,11°C
22	$\bar{x}$	34,26°C	33,35°C	34,01°C	34,34°C	34,06°C	34,60°C	34,23°C	34,03°C	34,41°C	34,28°C
	s	0,63°C	0,94°C	0,73°C	0,80°C	0,89°C	0,82°C	0,95°C	0,89°C	0,55°C	0,84°C
24	$\bar{x}$	34,35°C	33,56°C	34,16°C	34,43°C	34,26°C	34,59°C	34,26°C	34,06°C	34,49°C	34,36°C
	s	0,48°C	0,73°C	0,68°C	0,76°C	0,86°C	0,72°C	0,87°C	0,87°C	0,48°C	0,83°C
26	$\bar{x}$	34,50°C	33,66°C	34,20°C	34,58°C	34,21°C	34,74°C	34,39°C	34,20°C	34,51°C	34,34°C
	s	0,77°C	0,88°C	0,91°C	0,77°C	0,98°C	0,79°C	0,92°C	0,94°C	0,65°C	0,91°C
28	$\bar{x}$	34,51°C	33,74°C	34,20°C	34,56°C	34,34°C	34,73°C	34,39°C	34,15°C	34,44°C	34,35°C
	s	0,72°C	0,91°C	0,91°C	0,76°C	0,88°C	0,73°C	0,82°C	0,82°C	0,64°C	0,86°C
30	$\bar{x}$	34,76°C	33,95°C	34,35°C	34,78°C	34,51°C	34,85°C	34,60°C	34,33°C	34,74°C	34,55°C
	s	1,10°C	1,24°C	1,25°C	1,18°C	1,28°C	1,10°C	1,22°C	1,24°C	1,16°C	1,26°C

Tab.11: Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s) der Fingerkuppentemperatur aus jeweils 8 Kälteprovokationstests für die Finger L1 - L5 und R1 - R5 während der 30minütigen Versuchsdauer für VP 4

ZEIT (min.)	VB	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	MIN	31,86°C	30,60°C	31,27°C	31,47°C	30,97°C	32,01°C	31,48°C	31,24°C	31,78°C	31,17°C
	MAX	33,34°C	32,37°C	32,95°C	33,76°C	32,98°C	33,57°C	33,27°C	33,19°C	33,44°C	33,46°C
3	MIN	26,86°C	24,29°C	24,99°C	25,60°C	24,47°C	27,29°C	26,20°C	25,86°C	26,51°C	26,18°C
	MAX	29,19°C	26,29°C	27,79°C	29,27°C	27,08°C	30,23°C	28,73°C	28,47°C	29,84°C	29,72°C
4	MIN	27,86°C	24,76°C	26,13°C	26,90°C	25,92°C	28,73°C	27,17°C	26,74°C	26,90°C	27,63°C
	MAX	30,79°C	27,54°C	30,12°C	31,20°C	29,33°C	31,92°C	30,38°C	30,31°C	31,53°C	32,10°C
6	MIN	30,32°C	27,01°C	28,81°C	29,97°C	28,74°C	30,89°C	29,22°C	28,85°C	30,20°C	30,31°C
	MAX	33,41°C	31,51°C	33,74°C	34,23°C	33,69°C	34,04°C	33,15°C	33,58°C	34,05°C	34,26°C
8	MIN	32,09°C	29,30°C	31,62°C	32,32°C	31,13°C	32,49°C	31,41°C	31,52°C	32,63°C	32,25°C
	MAX	34,01°C	33,12°C	34,03°C	34,63°C	33,95°C	34,54°C	33,89°C	34,90°C	33,97°C	34,45°C
10	MIN	32,15°C	29,95°C	31,96°C	32,59°C	31,91°C	32,88°C	31,81°C	31,97°C	33,02°C	32,24°C
	MAX	34,10°C	33,28°C	34,01°C	34,44°C	33,89°C	34,57°C	34,11°C	34,00°C	34,25°C	34,46°C
12	MIN	32,69°C	30,74°C	32,54°C	32,94°C	32,47°C	32,85°C	32,35°C	32,41°C	33,19°C	32,70°C
	MAX	34,51°C	33,81°C	34,69°C	34,91°C	34,50°C	35,07°C	34,65°C	34,49°C	34,61°C	34,88°C
14	MIN	33,21°C	31,68°C	32,83°C	33,41°C	33,12°C	33,40°C	32,86°C	32,84°C	33,57°C	33,18°C
	MAX	34,51°C	34,12°C	34,57°C	34,81°C	34,53°C	34,85°C	34,72°C	34,56°C	34,43°C	34,54°C
16	MIN	33,22°C	32,16°C	33,07°C	33,52°C	33,10°C	33,71°C	33,21°C	33,26°C	33,75°C	33,44°C
	MAX	34,58°C	34,11°C	34,63°C	34,78°C	34,52°C	34,94°C	34,87°C	34,47°C	34,62°C	34,63°C
18	MIN	33,50°C	32,61°C	33,36°C	33,80°C	33,35°C	33,83°C	33,43°C	33,33°C	33,84°C	33,12°C
	MAX	34,73°C	34,14°C	34,72°C	34,97°C	34,75°C	35,15°C	34,87°C	34,70°C	34,84°C	34,90°C
20	MIN	33,38°C	32,51°C	33,25°C	33,80°C	33,51°C	33,72°C	33,38°C	33,17°C	33,74°C	33,11°C
	MAX	34,89°C	34,14°C	34,60°C	34,95°C	34,76°C	35,18°C	34,94°C	34,76°C	35,01°C	34,97°C
22	MIN	33,74°C	32,57°C	33,41°C	33,67°C	33,33°C	33,92°C	33,44°C	33,29°C	33,96°C	33,58°C
	MAX	34,78°C	34,13°C	34,62°C	35,00°C	34,80°C	35,28°C	35,01°C	34,76°C	34,86°C	34,97°C
24	MIN	33,96°C	32,95°C	33,60°C	33,80°C	33,74°C	33,99°C	33,54°C	33,34°C	34,09°C	33,68°C
	MAX	34,74°C	34,17°C	34,73°C	35,05°C	34,78°C	35,18°C	34,99°C	34,78°C	34,88°C	35,05°C
26	MIN	33,86°C	32,93°C	33,45°C	33,94°C	33,40°C	34,08°C	33,62°C	33,42°C	33,97°C	33,58°C
	MAX	35,14°C	34,39°C	34,95°C	35,21°C	35,03°C	35,40°C	35,15°C	34,98°C	35,05°C	35,09°C
28	MIN	33,92°C	32,98°C	33,44°C	33,93°C	33,60°C	34,12°C	33,71°C	33,47°C	33,91°C	33,63°C
	MAX	35,11°C	34,49°C	34,96°C	35,20°C	35,07°C	35,33°C	35,07°C	34,83°C	34,97°C	35,07°C
30	MIN	33,85°C	32,91°C	33,30°C	33,79°C	33,44°C	33,93°C	33,58°C	33,28°C	33,77°C	33,50°C
	MAX	35,68°C	34,99°C	35,40°C	35,76°C	35,58°C	35,77°C	35,40°C	35,37°C	35,70°C	35,60°C

Tab.12: Vertrauensbereiche (VB) der Fingertemperaturverläufe von L1 - R5 für VP 4

ZEIT (min.)	$\bar{x} \pm s$	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	$\bar{x}$	32,20°C	31,35°C	31,55°C	31,78°C	31,69°C	32,04°C	31,59°C	31,71°C	31,66°C	31,45°C
	s	0,74°C	1,16°C	1,04°C	0,82°C	0,83°C	1,20°C	1,36°C	0,92°C	1,20°C	0,81°C
3	$\bar{x}$	25,86°C	24,04°C	24,15°C	24,63°C	24,03°C	25,64°C	24,50°C	24,36°C	24,49°C	23,75°C
	s	2,36°C	1,04°C	1,41°C	2,44°C	2,00°C	1,59°C	1,63°C	1,38°C	1,49°C	0,88°C
4	$\bar{x}$	27,31°C	25,06°C	24,90°C	25,18°C	25,20°C	27,05°C	24,86°C	25,10°C	25,98°C	24,56°C
	s	2,74°C	1,78°C	2,23°C	2,92°C	2,80°C	1,76°C	1,41°C	2,28°C	2,25°C	1,34°C
6	$\bar{x}$	29,50°C	27,83°C	27,28°C	27,65°C	28,08°C	29,95°C	27,49°C	27,04°C	29,11°C	26,70°C
	s	3,01°C	3,24°C	3,05°C	3,03°C	3,49°C	2,15°C	2,30°C	2,46°C	2,55°C	1,91°C
8	$\bar{x}$	30,39°C	29,24°C	28,94°C	29,54°C	29,16°C	31,28°C	29,79°C	29,50°C	30,80°C	28,95°C
	s	3,28°C	3,83°C	3,44°C	3,79°C	3,85°C	2,01°C	2,98°C	2,91°C	2,40°C	2,94°C
10	$\bar{x}$	31,14°C	29,51°C	29,23°C	29,94°C	29,64°C	32,18°C	31,04°C	30,43°C	32,00°C	30,93°C
	s	2,41°C	3,80°C	3,23°C	3,39°C	3,59°C	1,02°C	2,60°C	2,39°C	1,30°C	1,69°C
12	$\bar{x}$	31,65°C	30,16°C	30,33°C	30,93°C	30,54°C	32,41°C	31,48°C	31,51°C	32,04°C	31,73°C
	s	1,58°C	2,89°C	2,58°C	2,23°C	2,61°C	0,91°C	2,02°C	1,39°C	0,90°C	1,06°C
14	$\bar{x}$	32,00°C	31,00°C	30,91°C	31,45°C	31,04°C	32,50°C	32,18°C	31,96°C	32,43°C	32,33°C
	s	1,29°C	2,26°C	2,19°C	2,09°C	2,14°C	0,73°C	1,42°C	1,08°C	0,58°C	0,72°C
16	$\bar{x}$	32,27°C	31,57°C	31,47°C	31,89°C	31,83°C	32,74°C	32,56°C	32,39°C	32,90°C	32,61°C
	s	1,11°C	1,31°C	1,01°C	1,27°C	1,19°C	0,59°C	0,85°C	0,57°C	0,67°C	0,48°C
18	$\bar{x}$	32,34°C	31,60°C	31,54°C	31,89°C	31,74°C	32,84°C	32,74°C	32,64°C	32,77°C	32,71°C
	s	1,15°C	1,25°C	1,44°C	1,25°C	1,58°C	0,76°C	1,13°C	0,85°C	0,86°C	0,99°C
20	$\bar{x}$	32,36°C	31,73°C	31,63°C	31,96°C	31,84°C	32,87°C	32,76°C	32,47°C	32,70°C	32,47°C
	s	1,30°C	1,53°C	1,62°C	1,52°C	1,69°C	0,85°C	1,32°C	1,17°C	1,05°C	1,32°C
22	$\bar{x}$	32,49°C	31,46°C	31,63°C	31,81°C	31,71°C	32,87°C	32,70°C	32,44°C	32,51°C	32,34°C
	s	1,38°C	1,62°C	1,76°C	1,62°C	1,78°C	0,94°C	1,45°C	1,21°C	1,05°C	1,03°C
24	$\bar{x}$	32,34°C	31,41°C	31,53°C	31,66°C	31,40°C	32,83°C	32,51°C	32,36°C	32,43°C	32,06°C
	s	1,36°C	1,69°C	1,69°C	1,61°C	1,77°C	1,01°C	1,52°C	1,12°C	1,14°C	1,09°C
26	$\bar{x}$	32,31°C	31,64°C	31,67°C	31,93°C	31,61°C	32,83°C	32,63°C	32,31°C	32,44°C	32,46°C
	s	1,31°C	1,40°C	1,26°C	1,05°C	1,46°C	0,82°C	1,08°C	1,12°C	0,83°C	0,99°C
28	$\bar{x}$	32,36°C	31,80°C	31,89°C	32,13°C	31,87°C	33,01°C	32,81°C	32,61°C	32,60°C	32,30°C
	s	1,10°C	1,18°C	1,16°C	1,04°C	1,29°C	0,80°C	0,98°C	0,80°C	0,97°C	0,76°C
30	$\bar{x}$	32,31°C	31,54°C	31,56°C	31,84°C	31,80°C	32,93°C	32,67°C	32,53°C	32,51°C	32,36°C
	s	1,27°C	1,44°C	1,31°C	1,27°C	1,61°C	0,98°C	1,14°C	0,96°C	1,00°C	0,94°C

Tab.13: Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s) der Fingerkuppentemperatur aus jeweils 8 Kälteprovokationstests für die Finger L1 - L5 und R1 - R5 während der 30minütigen Versuchsdauer für VP 5 (IRT)

ZEIT (min.)	VB	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	MIN	31,58°C	30,38°C	30,68°C	31,10°C	31,00°C	31,04°C	30,45°C	30,95°C	30,66°C	30,78°C
	MAX	32,82°C	32,32°C	32,42°C	32,45°C	32,38°C	33,04°C	32,72°C	32,48°C	32,67°C	32,12°C
3	MIN	23,89°C	23,17°C	22,97°C	22,58°C	22,35°C	24,31°C	23,14°C	23,21°C	23,24°C	23,03°C
	MAX	27,84°C	24,91°C	25,33°C	26,67°C	25,70°C	26,97°C	25,86°C	25,52°C	25,73°C	24,48°C
4	MIN	25,02°C	23,57°C	23,04°C	22,74°C	22,86°C	25,58°C	23,69°C	23,20°C	24,09°C	23,44°C
	MAX	29,60°C	26,55°C	26,76°C	27,61°C	27,54°C	28,52°C	26,04°C	27,00°C	27,86°C	25,69°C
6	MIN	26,98°C	25,12°C	24,72°C	25,12°C	25,16°C	28,16°C	25,57°C	24,98°C	26,98°C	25,11°C
	MAX	32,02°C	30,53°C	29,83°C	30,18°C	30,99°C	31,74°C	29,41°C	29,10°C	31,24°C	28,29°C
8	MIN	27,64°C	26,04°C	26,06°C	26,37°C	25,94°C	29,59°C	27,30°C	27,07°C	28,79°C	26,49°C
	MAX	33,13°C	32,44°C	31,82°C	32,70°C	32,38°C	32,96°C	32,28°C	31,93°C	32,81°C	31,41°C
10	MIN	29,12°C	26,84°C	27,02°C	27,10°C	26,64°C	31,32°C	28,87°C	28,43°C	30,91°C	29,51°C
	MAX	33,15°C	32,69°C	33,43°C	32,77°C	32,64°C	33,03°C	33,21°C	32,42°C	33,09°C	32,34°C
12	MIN	30,33°C	27,75°C	28,17°C	29,06°C	28,35°C	31,66°C	29,79°C	30,35°C	31,30°C	30,84°C
	MAX	32,97°C	32,58°C	32,48°C	32,79°C	32,72°C	33,17°C	33,16°C	32,67°C	32,77°C	32,61°C
14	MIN	30,92°C	29,11°C	29,09°C	29,70°C	29,25°C	31,89°C	30,99°C	31,16°C	31,94°C	31,72°C
	MAX	33,08°C	32,89°C	32,74°C	33,20°C	32,83°C	33,11°C	33,36°C	32,87°C	32,91°C	32,93°C
16	MIN	31,34°C	30,47°C	30,62°C	29,70°C	29,25°C	32,25°C	31,85°C	31,91°C	32,35°C	32,22°C
	MAX	33,20°C	32,67°C	32,32°C	32,95°C	32,83°C	33,23°C	33,26°C	32,86°C	33,45°C	33,01°C
18	MIN	31,38°C	30,55°C	30,34°C	30,84°C	30,42°C	32,22°C	31,80°C	31,84°C	32,06°C	31,89°C
	MAX	33,30°C	32,65°C	32,75°C	32,93°C	33,06°C	33,47°C	33,68°C	33,35°C	33,49°C	33,54°C
20	MIN	31,27°C	30,45°C	30,28°C	30,69°C	30,43°C	32,16°C	31,65°C	31,49°C	31,82°C	31,36°C
	MAX	33,44°C	33,01°C	32,98°C	33,23°C	33,26°C	33,58°C	33,86°C	33,45°C	33,58°C	33,58°C
22	MIN	31,34°C	30,10°C	30,16°C	30,46°C	30,23°C	32,09°C	31,49°C	31,43°C	31,63°C	31,48°C
	MAX	33,64°C	32,81°C	33,10°C	33,17°C	33,20°C	33,65°C	33,91°C	33,46°C	33,39°C	33,21°C
24	MIN	31,20°C	30,00°C	30,11°C	30,31°C	29,92°C	31,98°C	31,24°C	31,42°C	31,48°C	31,15°C
	MAX	33,48°C	32,83°C	32,94°C	33,00°C	32,88°C	33,67°C	33,78°C	33,30°C	33,38°C	32,97°C
26	MIN	31,22°C	30,47°C	30,62°C	31,05°C	30,40°C	32,15°C	31,72°C	31,38°C	31,75°C	31,63°C
	MAX	33,41°C	32,81°C	32,72°C	32,81°C	32,83°C	33,51°C	33,53°C	33,25°C	33,13°C	33,28°C
28	MIN	31,44°C	30,82°C	30,92°C	31,26°C	30,80°C	32,35°C	32,00°C	31,95°C	31,79°C	31,67°C
	MAX	33,28°C	32,78°C	32,85°C	33,00°C	32,95°C	33,68°C	33,63°C	33,28°C	33,41°C	32,93°C
30	MIN	31,26°C	30,34°C	30,46°C	30,78°C	30,45°C	32,12°C	31,72°C	31,73°C	31,68°C	31,57°C
	MAX	33,37°C	32,75°C	32,65°C	32,91°C	33,15°C	33,74°C	33,62°C	33,32°C	33,35°C	33,14°C

Tab.14: Vertrauensbereiche (VB) der Fingertemperaturverläufe von L1 - R5 für VP 5 (IRT)

ZEIT (min.)	$\bar{x} \pm s$	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	$\bar{x}$	33,05°C	32,74°C	33,43°C	33,53°C	32,94°C	32,66°C	33,34°C	33,54°C	33,83°C	33,01°C
	s	1,71°C	2,05°C	1,92°C	1,63°C	2,34°C	1,65°C	1,69°C	1,78°C	1,67°C	2,19°C
3	$\bar{x}$	24,51°C	24,03°C	24,48°C	24,51°C	23,33°C	23,50°C	22,48°C	22,98°C	22,84°C	22,49°C
	s	5,46°C	5,96°C	6,04°C	5,71°C	6,22°C	4,06°C	5,05°C	5,15°C	5,10°C	5,46°C
4	$\bar{x}$	25,66°C	25,21°C	26,08°C	25,59°C	25,01°C	24,96°C	23,35°C	23,80°C	24,19°C	23,41°C
	s	5,57°C	6,42°C	6,47°C	5,95°C	6,89°C	4,66°C	5,35°C	5,52°C	5,49°C	5,57°C
6	$\bar{x}$	28,36°C	28,15°C	29,14°C	28,04°C	27,94°C	27,88°C	28,03°C	28,26°C	28,79°C	28,10°C
	s	5,65°C	6,38°C	6,22°C	6,13°C	6,33°C	4,65°C	5,55°C	5,64°C	5,69°C	5,96°C
8	$\bar{x}$	30,91°C	30,55°C	31,46°C	31,05°C	30,89°C	29,84°C	30,78°C	30,88°C	31,18°C	30,73°C
	s	4,06°C	4,76°C	4,71°C	4,12°C	4,97°C	3,90°C	4,86°C	4,97°C	4,32°C	5,03°C
10	$\bar{x}$	32,03°C	31,85°C	32,56°C	32,25°C	31,53°C	31,25°C	31,71°C	31,91°C	32,40°C	31,43°C
	s	2,23°C	2,15°C	2,79°C	2,26°C	3,36°C	2,65°C	3,57°C	3,40°C	2,66°C	4,51°C
12	$\bar{x}$	32,09°C	32,35°C	32,78°C	32,55°C	31,91°C	31,45°C	32,30°C	32,69°C	32,73°C	31,73°C
	s	2,54°C	2,44°C	2,69°C	2,25°C	3,02°C	2,58°C	2,90°C	2,54°C	2,31°C	4,09°C
14	$\bar{x}$	32,25°C	32,65°C	32,89°C	32,55°C	32,05°C	31,88°C	32,45°C	32,94°C	32,80°C	32,06°C
	s	2,17°C	2,64°C	2,64°C	2,05°C	3,00°C	2,44°C	2,89°C	2,45°C	2,43°C	3,93°C
16	$\bar{x}$	32,00°C	32,29°C	32,63°C	32,60°C	31,70°C	31,49°C	32,29°C	32,61°C	32,59°C	31,81°C
	s	2,40°C	2,93°C	2,96°C	2,32°C	3,35°C	2,73°C	2,90°C	2,74°C	2,58°C	3,99°C
18	$\bar{x}$	32,18°C	32,24°C	32,61°C	32,56°C	31,69°C	31,49°C	32,21°C	32,78°C	32,40°C	31,71°C
	s	2,87°C	3,19°C	3,28°C	2,80°C	3,60°C	2,90°C	3,39°C	3,20°C	3,17°C	4,16°C
20	$\bar{x}$	32,65°C	33,01°C	33,49°C	33,25°C	32,48°C	31,83°C	32,71°C	33,31°C	33,24°C	32,48°C
	s	1,98°C	1,92°C	1,96°C	1,49°C	2,65°C	2,26°C	2,50°C	1,90°C	1,80°C	3,29°C
22	$\bar{x}$	32,96°C	33,01°C	33,48°C	33,15°C	32,48°C	32,35°C	33,24°C	33,64°C	33,50°C	32,98°C
	s	1,48°C	1,53°C	1,68°C	1,15°C	2,07°C	1,80°C	1,44°C	1,18°C	1,06°C	1,78°C
24	$\bar{x}$	33,21°C	32,80°C	33,59°C	33,34°C	32,71°C	32,35°C	33,20°C	33,40°C	33,40°C	33,23°C
	s	1,08°C	1,18°C	1,38°C	0,88°C	1,84°C	1,79°C	1,60°C	1,31°C	1,21°C	1,77°C
26	$\bar{x}$	33,15°C	33,31°C	33,59°C	33,61°C	33,00°C	32,14°C	32,84°C	33,38°C	33,45°C	33,09°C
	s	1,03°C	1,24°C	1,45°C	0,75°C	2,03°C	1,80°C	1,80°C	1,04°C	1,01°C	1,57°C
28	$\bar{x}$	32,63°C	32,58°C	33,11°C	32,96°C	32,50°C	32,10°C	32,55°C	33,05°C	33,14°C	32,66°C
	s	0,86°C	1,47°C	1,42°C	1,47°C	1,88°C	1,56°C	1,53°C	1,38°C	1,11°C	1,45°C
30	$\bar{x}$	32,89°C	32,70°C	33,28°C	32,50°C	32,58°C	32,15°C	32,56°C	32,68°C	32,80°C	32,36°C
	s	0,88°C	1,75°C	1,77°C	1,58°C	2,20°C	1,60°C	1,72°C	2,33°C	1,52°C	2,04°C

Tab.15: Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s) der Fingertemperatur aus jeweils 8 Kälteprovokationstests für die Finger L1 - L5 und R1 - R5 während der 30minütigen Versuchsdauer für VP 5 (FKT)

ZEIT (min.)	VB	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	MIN	31,62°C	31,03°C	31,82°C	32,16°C	30,98°C	31,28°C	31,92°C	32,05°C	32,43°C	31,18°C
	MAX	34,48°C	34,45°C	35,03°C	34,89°C	34,89°C	34,05°C	34,75°C	35,02°C	35,22°C	34,84°C
3	MIN	19,95°C	19,04°C	19,43°C	19,74°C	18,12°C	20,10°C	18,25°C	18,67°C	18,57°C	17,92°C
	MAX	29,08°C	29,01°C	29,52°C	29,28°C	28,53°C	26,90°C	26,70°C	27,28°C	27,10°C	27,05°C
4	MIN	21,00°C	19,84°C	20,66°C	20,62°C	19,25°C	21,07°C	18,88°C	19,19°C	19,59°C	18,76°C
	MAX	30,32°C	30,58°C	31,49°C	30,56°C	30,77°C	28,86°C	27,82°C	28,41°C	28,78°C	28,07°C
6	MIN	23,64°C	22,81°C	23,94°C	22,91°C	22,64°C	23,99°C	23,38°C	23,55°C	24,03°C	23,11°C
	MAX	33,08°C	33,49°C	34,33°C	33,16°C	33,23°C	31,76°C	32,67°C	32,97°C	33,54°C	33,09°C
8	MIN	27,51°C	26,57°C	27,53°C	27,60°C	26,82°C	26,58°C	26,71°C	26,72°C	27,56°C	26,52°C
	MAX	34,31°C	34,53°C	35,40°C	34,50°C	34,96°C	33,10°C	34,84°C	35,03°C	34,79°C	34,93°C
10	MIN	30,16°C	29,55°C	30,23°C	30,36°C	28,71°C	29,04°C	28,73°C	29,07°C	30,17°C	27,65°C
	MAX	33,89°C	34,15°C	34,89°C	34,14°C	34,34°C	33,46°C	34,70°C	34,76°C	34,63°C	35,20°C
12	MIN	29,96°C	30,31°C	30,52°C	30,67°C	29,38°C	29,29°C	29,87°C	30,56°C	30,79°C	28,31°C
	MAX	34,21°C	34,39°C	35,03°C	34,43°C	34,44°C	33,61°C	34,73°C	34,81°C	34,66°C	35,14°C
14	MIN	30,43°C	30,45°C	30,68°C	30,84°C	29,54°C	29,83°C	30,03°C	30,89°C	30,77°C	28,78°C
	MAX	34,07°C	34,85°C	35,09°C	34,26°C	34,56°C	33,92°C	34,87°C	34,99°C	34,83°C	35,35°C
16	MIN	29,99°C	29,83°C	30,15°C	30,66°C	28,89°C	29,21°C	29,86°C	30,33°C	30,43°C	28,48°C
	MAX	34,01°C	34,74°C	35,10°C	34,54°C	34,51°C	33,77°C	34,71°C	34,90°C	34,75°C	35,15°C
18	MIN	29,78°C	29,57°C	29,87°C	30,22°C	28,68°C	29,07°C	29,37°C	30,10°C	29,75°C	28,24°C
	MAX	34,57°C	34,90°C	35,35°C	34,91°C	34,69°C	33,91°C	35,05°C	35,45°C	35,05°C	35,19°C
20	MIN	31,00°C	31,41°C	31,85°C	32,00°C	30,26°C	29,93°C	30,62°C	31,72°C	31,73°C	29,73°C
	MAX	34,30°C	34,62°C	35,13°C	34,50°C	34,69°C	33,72°C	34,80°C	34,90°C	34,74°C	35,22°C
22	MIN	31,73°C	31,73°C	32,07°C	32,19°C	30,74°C	30,85°C	32,04°C	32,65°C	32,61°C	31,48°C
	MAX	34,20°C	34,30°C	34,88°C	34,11°C	34,21°C	33,85°C	34,44°C	34,62°C	34,39°C	34,47°C
24	MIN	32,31°C	31,81°C	32,43°C	32,60°C	31,18°C	30,85°C	31,86°C	32,31°C	32,39°C	31,75°C
	MAX	34,11°C	33,79°C	34,74°C	34,07°C	34,25°C	33,85°C	34,54°C	34,49°C	34,41°C	34,70°C
26	MIN	32,29°C	32,28°C	32,37°C	32,99°C	31,31°C	30,63°C	31,33°C	32,51°C	32,61°C	31,78°C
	MAX	34,01°C	34,35°C	34,80°C	34,24°C	34,69°C	33,64°C	34,34°C	34,24°C	34,29°C	34,40°C
28	MIN	31,91°C	31,35°C	31,92°C	31,73°C	30,93°C	30,80°C	31,27°C	31,90°C	32,21°C	31,45°C
	MAX	33,34°C	33,80°C	34,30°C	34,20°C	34,07°C	33,40°C	33,83°C	34,20°C	34,07°C	33,88°C
30	MIN	32,16°C	31,24°C	31,79°C	31,18°C	30,74°C	30,81°C	31,12°C	30,73°C	31,53°C	30,66°C
	MAX	33,62°C	34,76°C	34,76°C	33,82°C	34,41°C	33,49°C	34,00°C	34,62°C	34,07°C	34,06°C

Tab.16: Vertrauensbereiche (VB) der Fingertemperaturverläufe von L1 - R5 für VP 5 (FKT)

ZEIT (min.)	$\bar{x} \pm s$	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	$\bar{x}$	33,19°C	33,13°C	33,26°C	33,11°C	33,20°C	32,74°C	32,65°C	33,61°C	33,24°C	32,60°C
	s	0,98°C	1,13°C	0,94°C	0,86°C	0,89°C	0,78°C	1,07°C	0,81°C	1,16°C	1,52°C
3	$\bar{x}$	21,10°C	18,78°C	19,33°C	19,10°C	19,08°C	19,91°C	19,28°C	19,74°C	19,58°C	20,31°C
	s	2,03°C	1,02°C	1,23°C	1,03°C	1,69°C	0,95°C	0,88°C	1,26°C	1,11°C	4,27°C
4	$\bar{x}$	22,84°C	20,05°C	20,53°C	20,45°C	20,90°C	21,89°C	21,45°C	22,08°C	21,61°C	21,95°C
	s	3,98°C	2,97°C	3,62°C	3,26°C	4,18°C	2,96°C	3,71°C	4,54°C	3,68°C	5,53°C
6	$\bar{x}$	27,34°C	24,60°C	24,85°C	25,34°C	25,84°C	25,96°C	25,64°C	25,95°C	26,05°C	25,93°C
	s	4,73°C	5,68°C	6,60°C	6,44°C	6,04°C	5,08°C	5,66°C	6,68°C	6,37°C	6,60°C
8	$\bar{x}$	31,66°C	27,84°C	27,36°C	27,43°C	29,50°C	29,15°C	28,30°C	28,18°C	28,56°C	28,41°C
	s	2,20°C	6,36°C	6,68°C	6,49°C	5,20°C	3,37°C	5,22°C	6,64°C	6,12°C	6,57°C
10	$\bar{x}$	32,78°C	31,80°C	31,73°C	31,83°C	33,18°C	32,20°C	32,30°C	32,85°C	33,06°C	33,28°C
	s	1,42°C	2,48°C	3,34°C	2,40°C	1,40°C	0,80°C	1,39°C	2,38°C	1,47°C	1,58°C
12	$\bar{x}$	33,06°C	32,28°C	32,63°C	32,24°C	33,00°C	31,84°C	31,93°C	32,61°C	32,71°C	32,69°C
	s	1,15°C	1,40°C	1,44°C	1,69°C	1,04°C	0,84°C	1,39°C	1,62°C	1,25°C	1,54°C
14	$\bar{x}$	33,18°C	32,69°C	32,91°C	32,70°C	33,15°C	31,95°C	32,31°C	33,01°C	33,33°C	33,10°C
	s	1,22°C	1,19°C	1,77°C	1,72°C	1,32°C	0,94°C	1,86°C	1,68°C	1,54°C	1,57°C
16	$\bar{x}$	33,08°C	32,94°C	32,86°C	32,73°C	33,40°C	32,21°C	32,50°C	33,06°C	33,26°C	32,94°C
	s	1,05°C	1,29°C	1,23°C	1,22°C	0,89°C	0,83°C	1,38°C	1,31°C	1,49°C	1,58°C
18	$\bar{x}$	33,61°C	33,75°C	33,60°C	33,35°C	33,64°C	32,95°C	33,15°C	33,78°C	34,04°C	33,84°C
	s	1,38°C	1,38°C	1,12°C	1,76°C	1,39°C	0,94°C	1,37°C	1,09°C	0,91°C	1,26°C
20	$\bar{x}$	33,36°C	33,21°C	33,53°C	33,14°C	33,46°C	32,81°C	33,41°C	33,84°C	33,73°C	33,48°C
	s	1,82°C	1,61°C	1,71°C	2,22°C	1,90°C	1,30°C	1,80°C	1,62°C	1,02°C	1,71°C
22	$\bar{x}$	33,43°C	33,61°C	33,63°C	33,56°C	33,74°C	32,64°C	33,24°C	33,93°C	33,81°C	33,64°C
	s	1,64°C	1,66°C	1,60°C	1,80°C	1,71°C	1,25°C	1,69°C	1,48°C	0,97°C	1,60°C
24	$\bar{x}$	32,88°C	33,08°C	33,15°C	32,88°C	32,91°C	32,13°C	32,16°C	32,89°C	32,83°C	32,69°C
	s	1,50°C	1,80°C	1,70°C	1,69°C	1,64°C	0,85°C	1,22°C	1,11°C	0,97°C	1,42°C
26	$\bar{x}$	32,94°C	32,96°C	32,80°C	32,89°C	33,01°C	32,18°C	31,83°C	32,66°C	32,60°C	32,54°C
	s	1,21°C	1,46°C	1,14°C	1,41°C	1,28°C	0,77°C	1,26°C	0,75°C	0,78°C	1,23°C
28	$\bar{x}$	33,09°C	32,98°C	32,68°C	32,74°C	32,65°C	32,16°C	31,55°C	32,55°C	32,49°C	32,30°C
	s	1,20°C	1,62°C	1,26°C	1,67°C	1,28°C	0,69°C	0,89°C	0,60°C	0,86°C	0,98°C
30	$\bar{x}$	33,20°C	33,21°C	33,14°C	33,20°C	33,06°C	32,41°C	31,76°C	32,89°C	32,83°C	32,60°C
	s	1,17°C	1,24°C	1,30°C	1,02°C	0,98°C	0,79°C	1,56°C	0,85°C	0,67°C	1,11°C

Tab.17: Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s) der Fingertemperatur aus jeweils 8 Kälteprovokationstests für die Finger L1 - L5 und R1 - R5 während der 30minütigen Versuchsdauer für VP 6

ZEIT (min.)	VB	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	MIN	32,37°C	32,18°C	32,48°C	32,40°C	32,46°C	32,09°C	31,75°C	32,93°C	32,27°C	31,33°C
	MAX	34,00°C	34,07°C	34,05°C	33,83°C	33,94°C	33,39°C	33,55°C	34,29°C	34,21°C	33,87°C
3	MIN	19,40°C	17,92°C	18,30°C	18,24°C	17,66°C	19,12°C	18,55°C	18,68°C	18,64°C	16,74°C
	MAX	22,80°C	19,63°C	20,35°C	19,96°C	20,49°C	20,70°C	20,00°C	20,79°C	20,51°C	23,88°C
4	MIN	19,51°C	17,57°C	17,49°C	17,73°C	17,40°C	19,41°C	18,35°C	18,28°C	18,53°C	17,33°C
	MAX	26,16°C	22,53°C	23,56°C	23,17°C	24,40°C	24,37°C	24,55°C	25,87°C	24,69°C	26,57°C
6	MIN	23,38°C	19,85°C	19,33°C	19,95°C	20,79°C	21,72°C	20,90°C	20,36°C	20,72°C	20,40°C
	MAX	31,30°C	29,35°C	30,37°C	30,73°C	30,89°C	30,21°C	30,37°C	31,54°C	31,38°C	31,45°C
8	MIN	29,82°C	22,52°C	21,78°C	22,00°C	25,15°C	26,33°C	23,93°C	22,62°C	23,44°C	22,92°C
	MAX	33,51°C	33,16°C	32,95°C	32,85°C	33,85°C	31,97°C	32,67°C	33,73°C	33,68°C	33,91°C
10	MIN	31,59°C	29,73°C	28,93°C	29,82°C	32,01°C	31,54°C	31,13°C	30,86°C	31,83°C	31,95°C
	MAX	33,96°C	33,87°C	34,52°C	33,83°C	34,34°C	32,86°C	33,47°C	34,84°C	34,30°C	34,60°C
12	MIN	32,11°C	31,11°C	31,42°C	30,82°C	32,13°C	31,14°C	30,76°C	31,26°C	31,67°C	31,40°C
	MAX	34,02°C	33,44°C	33,83°C	33,65°C	33,87°C	32,53°C	33,09°C	33,97°C	33,76°C	33,97°C
14	MIN	32,16°C	31,69°C	31,43°C	31,26°C	32,04°C	31,17°C	30,75°C	31,61°C	32,04°C	31,79°C
	MAX	34,19°C	33,68°C	34,39°C	34,14°C	34,26°C	32,73°C	33,87°C	34,42°C	34,61°C	34,41°C
16	MIN	32,20°C	31,86°C	31,83°C	31,70°C	32,66°C	31,52°C	31,34°C	31,96°C	32,01°C	31,61°C
	MAX	33,95°C	34,01°C	33,89°C	33,75°C	34,14°C	32,90°C	33,66°C	34,16°C	34,51°C	34,26°C
18	MIN	32,46°C	32,60°C	32,66°C	31,88°C	32,48°C	32,17°C	32,00°C	32,86°C	33,28°C	32,79°C
	MAX	34,77°C	34,90°C	34,54°C	34,82°C	34,80°C	33,73°C	34,30°C	34,69°C	34,79°C	34,89°C
20	MIN	31,84°C	31,87°C	32,10°C	31,28°C	31,87°C	31,73°C	31,91°C	32,49°C	32,87°C	32,05°C
	MAX	34,88°C	34,56°C	34,95°C	35,00°C	35,05°C	33,90°C	34,92°C	35,19°C	34,58°C	34,90°C
22	MIN	32,05°C	32,22°C	32,29°C	32,06°C	32,30°C	31,59°C	31,82°C	32,69°C	33,01°C	32,30°C
	MAX	34,80°C	35,00°C	34,96°C	35,07°C	35,17°C	33,68°C	34,65°C	35,16°C	34,62°C	34,97°C
24	MIN	31,62°C	31,57°C	31,73°C	31,46°C	31,54°C	31,42°C	31,14°C	31,96°C	32,02°C	31,50°C
	MAX	34,13°C	34,58°C	34,57°C	34,29°C	34,28°C	32,83°C	33,19°C	33,81°C	33,63°C	33,87°C
26	MIN	31,93°C	31,74°C	31,85°C	31,71°C	31,94°C	31,54°C	30,78°C	32,04°C	31,95°C	31,51°C
	MAX	33,95°C	34,18°C	33,75°C	34,06°C	34,08°C	32,81°C	32,87°C	33,29°C	33,25°C	33,57°C
28	MIN	32,08°C	31,62°C	31,62°C	31,34°C	31,58°C	31,59°C	30,81°C	32,05°C	31,77°C	31,49°C
	MAX	34,09°C	34,33°C	33,73°C	34,13°C	33,72°C	32,73°C	32,29°C	33,05°C	33,20°C	33,11°C
30	MIN	32,22°C	32,18°C	32,05°C	32,35°C	32,25°C	31,76°C	30,46°C	32,18°C	32,27°C	31,67°C
	MAX	34,18°C	34,25°C	34,22°C	34,05°C	33,87°C	33,07°C	33,06°C	33,59°C	33,38°C	33,53°C

Tab.18: Vertrauensbereiche (VB) der Fingertemperaturverläufe von L1 - R5 für VP 6

ZEIT (min.)	$\bar{x} \pm s$	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	$\bar{x}$	33,06°C	33,66°C	34,15°C	33,96°C	33,96°C	33,41°C	33,29°C	33,96°C	33,93°C	32,68°C
	s	1,23°C	1,19°C	1,11°C	1,32°C	1,22°C	0,99°C	0,94°C	1,19°C	1,61°C	1,88°C
3	$\bar{x}$	22,19°C	21,85°C	20,84°C	21,15°C	21,35°C	22,05°C	20,54°C	21,79°C	22,56°C	20,78°C
	s	3,64°C	2,48°C	2,11°C	3,10°C	3,39°C	3,32°C	2,18°C	4,19°C	5,10°C	3,93°C
4	$\bar{x}$	23,26°C	22,71°C	22,83°C	22,63°C	23,59°C	23,26°C	21,99°C	23,10°C	23,93°C	22,53°C
	s	4,40°C	4,42°C	4,67°C	5,13°C	5,43°C	4,29°C	3,97°C	5,21°C	6,00°C	5,00°C
6	$\bar{x}$	24,20°C	23,84°C	23,00°C	23,49°C	27,40°C	26,76°C	25,80°C	27,78°C	27,06°C	27,54°C
	s	4,96°C	5,64°C	6,18°C	6,14°C	8,57°C	4,52°C	5,09°C	5,64°C	6,56°C	5,95°C
8	$\bar{x}$	24,45°C	24,38°C	24,31°C	24,25°C	27,40°C	27,45°C	29,36°C	30,53°C	30,00°C	29,74°C
	s	3,24°C	4,31°C	4,59°C	5,04°C	4,78°C	2,80°C	4,19°C	4,22°C	4,55°C	4,32°C
10	$\bar{x}$	31,93°C	32,10°C	33,08°C	31,54°C	32,58°C	31,72°C	32,28°C	32,06°C	32,20°C	31,40°C
	s	1,79°C	1,81°C	1,39°C	4,47°C	1,67°C	1,77°C	2,36°C	1,66°C	3,81°C	3,88°C
12	$\bar{x}$	32,56°C	32,73°C	33,17°C	33,29°C	33,40°C	32,39°C	32,50°C	32,63°C	33,30°C	32,19°C
	s	1,51°C	1,62°C	1,02°C	1,71°C	1,19°C	1,17°C	1,50°C	1,29°C	2,13°C	2,04°C
14	$\bar{x}$	32,93°C	33,35°C	33,96°C	33,62°C	33,83°C	32,79°C	32,64°C	32,74°C	33,55°C	33,11°C
	s	1,96°C	1,77°C	1,31°C	0,80°C	0,79°C	1,07°C	0,58°C	1,25°C	1,55°C	1,19°C
16	$\bar{x}$	32,98°C	33,41°C	34,11°C	33,85°C	33,80°C	32,93°C	32,93°C	33,78°C	33,60°C	33,33°C
	s	1,77°C	0,92°C	0,54°C	0,80°C	0,80°C	1,09°C	1,12°C	1,47°C	1,20°C	1,17°C
18	$\bar{x}$	33,00°C	33,56°C	34,14°C	34,01°C	33,80°C	32,94°C	33,24°C	34,02°C	33,87°C	32,58°C
	s	1,03°C	0,89°C	1,00°C	1,01°C	0,77°C	1,47°C	1,39°C	1,15°C	1,17°C	1,13°C
20	$\bar{x}$	33,28°C	33,89°C	34,25°C	34,20°C	33,80°C	32,33°C	32,54°C	34,30°C	34,05°C	33,80°C
	s	0,88°C	1,07°C	1,34°C	1,00°C	0,54°C	1,19°C	1,21°C	1,15°C	1,42°C	1,34°C
22	$\bar{x}$	33,08°C	33,60°C	34,16°C	34,01°C	33,80°C	33,16°C	32,35°C	34,30°C	33,15°C	33,33°C
	s	0,99°C	0,73°C	1,20°C	0,89°C	0,76°C	1,27°C	1,95°C	1,94°C	1,35°C	1,19°C
24	$\bar{x}$	33,45°C	33,98°C	34,29°C	34,20°C	34,06°C	33,60°C	33,75°C	34,30°C	34,16°C	33,10°C
	s	0,97°C	0,69°C	1,30°C	1,06°C	0,80°C	1,03°C	0,96°C	0,89°C	1,15°C	1,95°C
26	$\bar{x}$	33,51°C	34,10°C	34,40°C	34,26°C	34,11°C	33,65°C	33,81°C	34,36°C	34,13°C	33,19°C
	s	0,96°C	0,64°C	1,14°C	1,04°C	0,76°C	1,17°C	0,93°C	0,67°C	0,98°C	0,64°C
28	$\bar{x}$	33,39°C	33,69°C	34,11°C	34,00°C	33,86°C	33,41°C	33,50°C	34,19°C	34,15°C	33,80°C
	s	0,92°C	0,83°C	1,25°C	0,80°C	0,71°C	1,10°C	0,91°C	0,93°C	1,26°C	0,96°C
30	$\bar{x}$	33,45°C	33,73°C	34,23°C	34,04°C	34,04°C	33,48°C	33,48°C	34,06°C	34,03°C	33,58°C
	s	0,89°C	0,65°C	0,91°C	0,90°C	0,70°C	1,17°C	0,98°C	1,05°C	1,36°C	1,11°C

Tab.19: Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s) der Fingertemperatur aus jeweils 8 Kälteprovokationstests für die Finger L1 - L5 und R1 - R5 während der 30minütigen Versuchsdauer für VP 7

ZEIT (min.)	VB	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	MIN	32,03°C	32,67°C	33,22°C	32,86°C	32,84°C	32,59°C	32,47°C	32,97°C	32,58°C	31,10°C
	MAX	34,09°C	34,65°C	35,08°C	35,07°C	34,88°C	34,24°C	34,03°C	34,96°C	35,27°C	34,25°C
3	MIN	19,22°C	18,80°C	18,99°C	18,56°C	18,53°C	19,11°C	18,72°C	18,29°C	18,30°C	17,49°C
	MAX	25,15°C	22,90°C	22,68°C	23,74°C	24,17°C	24,99°C	22,36°C	25,29°C	26,83°C	24,06°C
4	MIN	19,59°C	19,01°C	18,92°C	18,33°C	19,05°C	19,59°C	18,67°C	18,74°C	18,91°C	18,35°C
	MAX	26,94°C	26,41°C	26,73°C	26,92°C	28,13°C	26,93°C	25,31°C	27,46°C	28,94°C	26,70°C
6	MIN	23,11°C	20,62°C	21,90°C	21,35°C	22,41°C	22,73°C	21,54°C	23,06°C	21,58°C	22,56°C
	MAX	31,41°C	30,05°C	32,23°C	31,62°C	32,39°C	30,79°C	30,06°C	32,49°C	32,55°C	32,51°C
8	MIN	27,74°C	25,26°C	26,97°C	26,04°C	27,42°C	28,14°C	25,78°C	27,00°C	25,36°C	25,29°C
	MAX	33,16°C	32,69°C	34,63°C	34,46°C	34,38°C	32,83°C	32,94°C	34,05°C	34,64°C	34,19°C
10	MIN	30,43°C	30,60°C	31,53°C	28,20°C	31,19°C	30,25°C	29,29°C	31,41°C	29,35°C	28,15°C
	MAX	33,42°C	33,60°C	34,62°C	35,68°C	33,98°C	33,20°C	33,41°C	34,19°C	35,05°C	34,65°C
12	MIN	31,61°C	31,37°C	32,84°C	31,86°C	32,83°C	31,45°C	31,46°C	32,58°C	31,60°C	31,08°C
	MAX	33,52°C	34,08°C	34,56°C	34,72°C	34,09°C	33,33°C	33,14°C	34,72°C	35,15°C	34,49°C
14	MIN	32,14°C	32,49°C	33,15°C	33,09°C	33,19°C	31,94°C	31,90°C	32,62°C	32,29°C	31,58°C
	MAX	33,71°C	34,21°C	34,80°C	34,56°C	34,41°C	33,63°C	33,37°C	34,73°C	34,81°C	34,74°C
16	MIN	32,08°C	32,66°C	33,38°C	33,08°C	39,17°C	32,01°C	37,84°C	32,61°C	32,29°C	31,58°C
	MAX	33,87°C	34,29°C	34,95°C	34,70°C	34,63°C	33,84°C	33,81°C	34,94°C	34,91°C	34,67°C
18	MIN	32,14°C	32,82°C	33,40°C	33,12°C	33,18°C	31,68°C	32,08°C	32,84°C	32,55°C	32,23°C
	MAX	33,86°C	34,30°C	35,07°C	34,93°C	34,94°C	34,05°C	34,40°C	35,26°C	35,07°C	34,92°C
20	MIN	32,54°C	32,90°C	33,13°C	33,35°C	33,53°C	32,36°C	32,53°C	33,34°C	32,87°C	32,63°C
	MAX	34,01°C	34,70°C	35,37°C	35,05°C	34,42°C	34,34°C	34,55°C	35,26°C	35,23°C	34,92°C
22	MIN	32,25°C	33,00°C	33,10°C	33,28°C	33,17°C	32,14°C	32,57°C	33,22°C	32,76°C	32,49°C
	MAX	33,90°C	34,20°C	35,10°C	34,74°C	34,43°C	34,19°C	34,13°C	34,78°C	35,01°C	34,48°C
24	MIN	32,65°C	33,40°C	33,20°C	33,31°C	33,38°C	32,74°C	33,04°C	33,56°C	33,29°C	33,03°C
	MAX	34,25°C	34,55°C	35,37°C	35,09°C	34,72°C	34,46°C	34,46°C	35,04°C	35,04°C	34,60°C
26	MIN	32,71°C	33,57°C	33,45°C	33,39°C	33,48°C	32,67°C	33,04°C	33,80°C	33,51°C	33,26°C
	MAX	34,31°C	34,63°C	35,35°C	35,13°C	34,75°C	34,63°C	34,58°C	34,92°C	35,14°C	34,32°C
28	MIN	32,62°C	33,00°C	33,06°C	33,34°C	33,28°C	32,49°C	32,74°C	33,42°C	33,09°C	33,00°C
	MAX	34,15°C	34,37°C	35,16°C	34,66°C	34,45°C	34,34°C	34,26°C	34,96°C	35,21°C	34,60°C
30	MIN	32,71°C	33,19°C	33,47°C	33,29°C	33,46°C	32,50°C	32,66°C	33,19°C	32,89°C	32,65°C
	MAX	34,19°C	34,26°C	34,98°C	34,79°C	34,61°C	34,45°C	34,29°C	34,94°C	35,16°C	34,50°C

Tab.20: Vertrauensbereiche (VB) der Fingertemperaturverläufe von L1 - R5 für VP 7

ZEIT (min.)	$\bar{x} \pm s$	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	$\bar{x}$	33,00°C	33,33°C	33,19°C	32,20°C	33,36°C	33,26°C	33,18°C	33,74°C	33,90°C	33,81°C
	s	1,10°C	1,25°C	1,38°C	1,20°C	0,99°C	0,99°C	1,13°C	1,04°C	0,88°C	0,84°C
3	$\bar{x}$	24,10°C	21,40°C	21,49°C	21,58°C	20,69°C	23,64°C	21,41°C	22,60°C	23,18°C	22,73°C
	s	4,51°C	3,81°C	3,07°C	3,08°C	3,40°C	3,83°C	3,43°C	4,14°C	4,73°C	5,06°C
4	$\bar{x}$	26,66°C	23,71°C	23,26°C	23,95°C	23,44°C	25,64°C	23,28°C	24,19°C	24,70°C	24,30°C
	s	4,02°C	5,03°C	4,74°C	4,62°C	4,62°C	3,67°C	4,57°C	4,58°C	4,67°C	4,86°C
6	$\bar{x}$	29,70°C	27,99°C	27,66°C	28,11°C	28,29°C	28,60°C	26,86°C	28,48°C	28,75°C	28,63°C
	s	3,66°C	5,18°C	5,93°C	5,58°C	5,52°C	4,29°C	5,51°C	5,77°C	5,25°C	5,62°C
8	$\bar{x}$	31,10°C	30,19°C	30,19°C	30,48°C	30,59°C	29,99°C	29,38°C	30,81°C	30,63°C	30,81°C
	s	3,70°C	4,70°C	5,10°C	4,81°C	4,52°C	4,16°C	4,51°C	5,10°C	5,03°C	4,76°C
10	$\bar{x}$	31,16°C	31,00°C	31,19°C	31,19°C	31,39°C	30,60°C	30,38°C	31,31°C	31,30°C	31,18°C
	s	3,75°C	4,81°C	5,14°C	5,02°C	4,58°C	4,24°C	4,82°C	5,24°C	5,25°C	4,77°C
12	$\bar{x}$	31,75°C	31,18°C	31,24°C	31,40°C	31,94°C	31,29°C	30,73°C	31,48°C	31,74°C	31,76°C
	s	2,11°C	4,53°C	4,95°C	4,74°C	3,59°C	3,39°C	4,78°C	5,07°C	4,88°C	3,67°C
14	$\bar{x}$	32,23°C	32,63°C	31,93°C	32,83°C	32,78°C	32,10°C	32,15°C	32,71°C	33,08°C	32,96°C
	s	1,24°C	1,84°C	3,30°C	1,82°C	1,31°C	1,56°C	2,08°C	2,08°C	1,55°C	1,31°C
16	$\bar{x}$	32,64°C	33,23°C	32,71°C	33,23°C	33,21°C	32,19°C	32,35°C	33,05°C	33,31°C	33,00°C
	s	1,00°C	1,09°C	1,81°C	0,89°C	0,76°C	1,33°C	1,13°C	0,94°C	0,76°C	0,59°C
18	$\bar{x}$	32,28°C	32,81°C	32,60°C	32,74°C	32,73°C	32,34°C	32,53°C	33,16°C	33,28°C	33,11°C
	s	0,85°C	0,95°C	1,34°C	1,04°C	0,79°C	1,29°C	1,31°C	1,09°C	0,85°C	1,16°C
20	$\bar{x}$	32,08°C	32,54°C	32,44°C	32,36°C	32,39°C	31,91°C	31,88°C	32,84°C	32,91°C	32,84°C
	s	0,96°C	1,04°C	1,39°C	1,16°C	0,85°C	1,29°C	1,20°C	0,92°C	0,93°C	1,01°C
22	$\bar{x}$	32,01°C	32,64°C	32,54°C	32,60°C	32,38°C	31,96°C	31,94°C	32,61°C	32,83°C	32,60°C
	s	1,61°C	1,90°C	2,05°C	1,80°C	1,67°C	1,83°C	2,09°C	1,83°C	1,64°C	1,69°C
24	$\bar{x}$	31,94°C	32,56°C	32,28°C	32,24°C	32,26°C	31,94°C	31,89°C	32,73°C	32,85°C	32,73°C
	s	1,63°C	1,60°C	1,90°C	1,69°C	1,51°C	1,71°C	1,98°C	1,60°C	1,47°C	1,40°C
26	$\bar{x}$	31,96°C	32,48°C	32,08°C	32,18°C	32,14°C	32,00°C	31,80°C	32,80°C	32,86°C	32,78°C
	s	2,32°C	2,19°C	2,46°C	2,45°C	2,17°C	2,17°C	2,40°C	2,01°C	1,89°C	1,91°C
28	$\bar{x}$	31,69°C	32,35°C	31,85°C	32,09°C	32,23°C	31,98°C	31,88°C	32,76°C	32,94°C	32,84°C
	s	2,35°C	2,03°C	2,45°C	2,17°C	1,73°C	1,91°C	2,16°C	1,54°C	1,45°C	1,37°C
30	$\bar{x}$	31,99°C	32,83°C	32,48°C	32,71°C	32,61°C	32,40°C	32,19°C	33,16°C	33,34°C	33,15°C
	s	1,89°C	1,64°C	1,92°C	1,56°C	1,54°C	1,56°C	1,77°C	1,22°C	1,30°C	1,40°C

Tab.21: Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s) der Fingerkuppentemperatur aus jeweils 8 Kälteprovokationstests für die Finger L1 - L5 und R1 - R5 während der 30minütigen Versuchsdauer für VP 8

ZEIT (min.)	VB	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	MIN	32,08°C	32,28°C	32,03°C	32,20°C	32,54°C	32,44°C	32,23°C	32,87°C	33,17°C	33,12°C
	MAX	33,92°C	34,37°C	34,34°C	34,20°C	34,19°C	34,08°C	34,12°C	34,60°C	34,63°C	34,51°C
3	MIN	20,33°C	18,21°C	18,21°C	19,00°C	17,85°C	20,44°C	18,54°C	19,14°C	19,22°C	18,50°C
	MAX	27,87°C	24,59°C	24,05°C	24,15°C	23,53°C	26,84°C	24,28°C	26,06°C	27,13°C	26,95°C
4	MIN	23,30°C	19,50°C	19,30°C	20,09°C	19,58°C	22,56°C	19,45°C	20,36°C	20,80°C	20,24°C
	MAX	30,03°C	27,92°C	27,23°C	27,81°C	27,30°C	28,71°C	27,10°C	28,01°C	28,60°C	28,36°C
6	MIN	26,64°C	23,66°C	20,70°C	23,45°C	23,67°C	25,01°C	22,25°C	23,65°C	24,36°C	23,93°C
	MAX	32,76°C	32,32°C	32,62°C	32,78°C	32,91°C	32,19°C	31,47°C	33,30°C	33,14°C	33,32°C
8	MIN	28,01°C	26,26°C	25,93°C	26,45°C	26,81°C	26,51°C	25,61°C	26,55°C	26,42°C	26,84°C
	MAX	34,19°C	34,12°C	34,45°C	34,50°C	34,36°C	33,46°C	33,14°C	35,08°C	34,83°C	34,79°C
10	MIN	28,03°C	26,97°C	26,89°C	26,99°C	27,56°C	27,06°C	26,35°C	26,93°C	26,91°C	27,19°C
	MAX	34,30°C	35,03°C	35,49°C	35,39°C	35,22°C	34,14°C	34,40°C	35,69°C	35,69°C	35,16°C
12	MIN	29,99°C	27,39°C	27,10°C	27,44°C	28,93°C	28,45°C	26,73°C	27,23°C	27,65°C	28,69°C
	MAX	33,51°C	34,96°C	35,37°C	35,36°C	34,94°C	34,12°C	34,72°C	35,72°C	35,82°C	34,83°C
14	MIN	31,19°C	31,09°C	29,16°C	31,30°C	31,68°C	30,79°C	30,41°C	30,97°C	31,78°C	31,87°C
	MAX	33,26°C	34,16°C	34,69°C	34,35°C	33,87°C	33,41°C	33,89°C	34,46°C	34,37°C	34,06°C
16	MIN	31,81°C	32,32°C	31,20°C	32,48°C	32,58°C	31,08°C	31,40°C	32,27°C	32,68°C	32,51°C
	MAX	33,47°C	34,13°C	34,22°C	33,97°C	33,85°C	33,30°C	33,30°C	33,83°C	33,95°C	33,49°C
18	MIN	31,57°C	32,02°C	31,48°C	31,87°C	32,07°C	31,26°C	31,43°C	32,25°C	32,56°C	32,14°C
	MAX	32,98°C	33,60°C	33,72°C	33,61°C	33,38°C	33,42°C	33,62°C	34,08°C	33,99°C	34,08°C
20	MIN	31,28°C	31,67°C	31,28°C	31,39°C	31,68°C	30,83°C	30,87°C	32,07°C	32,14°C	31,99°C
	MAX	32,87°C	33,41°C	33,60°C	33,34°C	33,10°C	32,99°C	32,88°C	33,61°C	33,69°C	33,68°C
22	MIN	30,67°C	31,05°C	30,82°C	31,10°C	30,98°C	30,43°C	30,19°C	31,08°C	31,45°C	31,19°C
	MAX	33,36°C	34,22°C	34,25°C	34,10°C	33,77°C	33,49°C	33,69°C	34,15°C	34,20°C	34,01°C
24	MIN	30,57°C	31,22°C	30,69°C	30,82°C	31,00°C	30,50°C	30,23°C	31,39°C	31,62°C	31,56°C
	MAX	33,30°C	33,90°C	33,86°C	33,65°C	33,53°C	33,37°C	33,54°C	34,06°C	34,08°C	33,89°C
26	MIN	30,02°C	30,64°C	30,02°C	30,12°C	30,32°C	30,18°C	29,79°C	31,12°C	31,28°C	31,18°C
	MAX	33,90°C	34,31°C	34,13°C	34,23°C	33,96°C	33,82°C	33,81°C	34,48°C	34,44°C	34,37°C
28	MIN	29,72°C	30,65°C	29,80°C	30,28°C	30,78°C	30,37°C	30,07°C	31,48°C	31,73°C	31,69°C
	MAX	33,65°C	34,05°C	33,90°C	33,90°C	33,67°C	33,58°C	33,68°C	34,05°C	34,15°C	33,99°C
30	MIN	30,41°C	31,46°C	30,87°C	31,41°C	31,32°C	31,10°C	30,70°C	32,14°C	32,25°C	31,98°C
	MAX	33,57°C	34,19°C	34,08°C	34,02°C	33,90°C	33,70°C	33,67°C	34,19°C	34,42°C	34,32°C

Tab.22: Vertrauensbereiche (VB) der Fingertemperaturverläufe von L1 - R5 für VP 8

ZEIT (min.)	$\bar{x} \pm s$	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	$\bar{x}$	31,65°C	32,83°C	32,69°C	32,23°C	32,68°C	31,35°C	31,83°C	32,26°C	32,34°C	32,13°C
	s	2,40°C	3,10°C	2,86°C	2,90°C	3,07°C	2,69°C	2,77°C	3,03°C	2,67°C	2,81°C
3	$\bar{x}$	23,69°C	23,35°C	22,65°C	22,60°C	22,34°C	22,99°C	22,78°C	22,03°C	22,16°C	22,24°C
	s	4,12°C	4,67°C	4,50°C	4,62°C	4,69°C	4,42°C	4,25°C	3,73°C	4,07°C	4,42°C
4	$\bar{x}$	24,46°C	24,59°C	24,21°C	23,96°C	24,13°C	23,73°C	24,18°C	23,58°C	23,55°C	23,69°C
	s	4,32°C	4,95°C	5,55°C	5,33°C	5,78°C	4,46°C	4,54°C	4,83°C	4,69°C	5,12°C
6	$\bar{x}$	26,31°C	27,48°C	26,79°C	26,26°C	27,04°C	25,36°C	26,65°C	25,13°C	26,81°C	26,44°C
	s	5,00°C	5,65°C	6,30°C	6,07°C	6,66°C	4,69°C	4,84°C	5,52°C	5,46°C	5,73°C
8	$\bar{x}$	28,79°C	29,08°C	28,35°C	28,51°C	29,25°C	27,64°C	28,79°C	28,54°C	28,94°C	29,53°C
	s	5,30°C	5,85°C	5,69°C	6,30°C	6,51°C	4,61°C	4,73°C	4,86°C	5,54°C	5,33°C
10	$\bar{x}$	29,45°C	29,64°C	29,43°C	29,64°C	30,03°C	28,61°C	29,68°C	29,91°C	29,94°C	30,18°C
	s	5,20°C	5,93°C	5,89°C	6,50°C	6,64°C	4,63°C	4,85°C	5,39°C	5,67°C	5,19°C
12	$\bar{x}$	30,11°C	30,11°C	29,35°C	29,73°C	30,11°C	29,08°C	30,35°C	30,71°C	30,41°C	30,85°C
	s	5,30°C	5,55°C	5,41°C	6,27°C	6,40°C	4,44°C	4,42°C	5,08°C	5,10°C	4,93°C
14	$\bar{x}$	30,10°C	30,43°C	30,59°C	29,84°C	30,23°C	29,46°C	30,58°C	31,11°C	31,06°C	31,28°C
	s	5,23°C	5,52°C	5,72°C	6,31°C	6,36°C	4,66°C	4,57°C	5,13°C	5,08°C	5,02°C
16	$\bar{x}$	30,13°C	30,53°C	30,60°C	29,98°C	30,21°C	29,59°C	30,18°C	30,64°C	30,76°C	30,78°C
	s	5,27°C	5,62°C	5,68°C	6,33°C	6,37°C	4,70°C	4,42°C	4,88°C	4,88°C	4,88°C
18	$\bar{x}$	30,06°C	30,86°C	30,65°C	29,93°C	30,18°C	29,75°C	30,44°C	31,06°C	31,10°C	31,20°C
	s	4,86°C	5,02°C	5,16°C	5,95°C	5,94°C	4,46°C	4,43°C	4,72°C	4,75°C	4,70°C
20	$\bar{x}$	30,20°C	31,05°C	30,84°C	30,03°C	30,43°C	30,04°C	30,86°C	31,15°C	30,93°C	31,14°C
	s	4,75°C	4,77°C	4,95°C	5,40°C	5,49°C	4,47°C	4,54°C	4,75°C	4,74°C	4,59°C
22	$\bar{x}$	30,36°C	31,48°C	31,24°C	30,41°C	30,66°C	30,16°C	30,76°C	31,54°C	31,25°C	31,38°C
	s	4,82°C	4,76°C	5,05°C	5,45°C	5,46°C	4,40°C	4,54°C	4,73°C	4,76°C	4,60°C
24	$\bar{x}$	30,44°C	31,49°C	31,16°C	30,45°C	30,75°C	30,41°C	31,14°C	31,69°C	31,48°C	31,40°C
	s	4,84°C	4,63°C	4,95°C	5,32°C	5,30°C	4,46°C	4,41°C	4,69°C	4,65°C	4,47°C
26	$\bar{x}$	30,49°C	31,41°C	31,19°C	30,45°C	30,75°C	30,18°C	30,80°C	31,15°C	31,04°C	31,00°C
	s	4,71°C	4,63°C	4,88°C	4,92°C	4,97°C	4,18°C	4,22°C	4,49°C	4,47°C	4,30°C
28	$\bar{x}$	30,31°C	31,18°C	31,15°C	30,46°C	30,83°C	30,13°C	30,76°C	31,23°C	31,05°C	31,06°C
	s	4,57°C	4,82°C	4,99°C	4,96°C	5,19°C	4,03°C	4,09°C	4,42°C	4,49°C	4,46°C
30	$\bar{x}$	30,39°C	30,69°C	30,43°C	30,20°C	30,00°C	29,63°C	30,51°C	30,94°C	30,54°C	30,80°C
	s	5,12°C	5,08°C	5,00°C	5,06°C	5,14°C	4,30°C	4,37°C	4,76°C	4,69°C	4,85°C

Tab.23: Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s) der Fingerrückentemperatur aus jeweils 8 Kälteprovokationstests für die Finger L1 - L5 und R1 - R5 während der 30minütigen Versuchsdauer für VP 9

ZEIT (min.)	VB	L1	L2	L3	L4	L5	R1	R2	R3	R4	R5
0	MIN	29,64°C	30,23°C	30,29°C	29,80°C	30,11°C	29,10°C	29,51°C	29,73°C	30,01°C	29,78°C
	MAX	33,66°C	35,42°C	35,08°C	34,65°C	35,24°C	33,60°C	34,14°C	34,80°C	34,47°C	34,47°C
3	MIN	20,24°C	19,45°C	18,88°C	18,74°C	18,42°C	19,30°C	19,22°C	18,90°C	18,76°C	18,54°C
	MAX	27,14°C	27,25°C	26,42°C	26,46°C	26,26°C	26,68°C	26,33°C	25,15°C	25,56°C	25,94°C
4	MIN	20,85°C	20,45°C	19,57°C	19,50°C	19,30°C	19,99°C	20,38°C	19,53°C	19,63°C	19,41°C
	MAX	28,08°C	28,73°C	28,86°C	28,42°C	28,95°C	27,46°C	27,97°C	27,62°C	27,47°C	27,97°C
6	MIN	22,13°C	22,75°C	21,52°C	21,18°C	21,47°C	21,44°C	22,60°C	21,51°C	22,25°C	21,64°C
	MAX	30,49°C	32,20°C	32,06°C	31,34°C	32,61°C	29,28°C	30,70°C	30,74°C	31,38°C	31,23°C
8	MIN	24,36°C	24,18°C	23,59°C	23,24°C	23,80°C	23,78°C	24,84°C	24,48°C	24,31°C	25,07°C
	MAX	33,22°C	33,97°C	33,11°C	33,78°C	34,70°C	31,49°C	32,74°C	32,60°C	33,57°C	33,98°C
10	MIN	25,11°C	24,68°C	24,50°C	24,20°C	24,47°C	24,74°C	25,62°C	25,40°C	25,20°C	25,83°C
	MAX	33,79°C	34,60°C	34,35°C	35,07°C	35,58°C	32,48°C	33,73°C	34,42°C	34,68°C	34,52°C
12	MIN	25,68°C	25,47°C	24,83°C	24,48°C	24,76°C	25,37°C	26,65°C	26,46°C	26,15°C	26,73°C
	MAX	34,55°C	34,75°C	33,87°C	34,97°C	35,46°C	32,78°C	34,05°C	34,96°C	34,67°C	34,97°C
14	MIN	25,73°C	25,81°C	25,80°C	24,56°C	24,90°C	25,57°C	26,76°C	26,82°C	26,82°C	27,07°C
	MAX	34,47°C	35,04°C	35,37°C	35,12°C	35,55°C	33,36°C	34,39°C	35,40°C	35,31°C	35,48°C
16	MIN	25,72°C	25,83°C	25,85°C	24,68°C	24,89°C	25,66°C	26,47°C	26,56°C	26,68°C	26,70°C
	MAX	34,53°C	35,22°C	35,35°C	35,27°C	35,54°C	33,52°C	33,88°C	34,71°C	34,84°C	34,85°C
18	MIN	26,00°C	26,67°C	26,34°C	24,95°C	25,20°C	26,02°C	26,73°C	27,12°C	27,13°C	27,27°C
	MAX	34,12°C	35,06°C	34,96°C	34,90°C	35,15°C	33,48°C	34,15°C	35,01°C	35,07°C	35,13°C
20	MIN	26,23°C	27,06°C	26,70°C	25,51°C	25,83°C	26,30°C	27,07°C	27,18°C	26,96°C	27,30°C
	MAX	34,17°C	35,04°C	34,98°C	34,54°C	35,02°C	33,78°C	34,66°C	35,12°C	34,89°C	34,98°C
22	MIN	26,33°C	27,50°C	27,01°C	25,86°C	26,10°C	26,49°C	26,96°C	27,58°C	27,27°C	27,52°C
	MAX	34,39°C	35,45°C	35,46°C	34,97°C	35,23°C	33,84°C	34,56°C	35,49°C	35,23°C	35,23°C
24	MIN	26,39°C	27,61°C	27,03°C	26,01°C	26,32°C	26,68°C	27,45°C	27,77°C	27,58°C	27,66°C
	MAX	34,48°C	35,36°C	35,30°C	34,89°C	35,18°C	34,14°C	34,83°C	35,61°C	35,37°C	35,14°C
26	MIN	26,55°C	27,54°C	27,11°C	26,33°C	26,59°C	26,68°C	27,27°C	27,39°C	27,30°C	27,40°C
	MAX	34,42°C	35,28°C	35,27°C	34,57°C	34,91°C	33,67°C	34,33°C	34,91°C	34,77°C	34,60°C
28	MIN	26,49°C	27,14°C	26,98°C	26,31°C	26,49°C	26,76°C	27,34°C	27,53°C	27,30°C	27,33°C
	MAX	34,13°C	35,21°C	35,32°C	34,61°C	35,16°C	33,49°C	34,18°C	34,92°C	34,80°C	34,79°C
30	MIN	26,11°C	26,44°C	26,25°C	25,96°C	25,70°C	26,04°C	26,86°C	26,96°C	26,62°C	26,74°C
	MAX	34,67°C	34,93°C	34,61°C	34,44°C	34,30°C	33,22°C	34,17°C	34,92°C	34,47°C	34,86°C

Tab.24: Vertrauensbereiche (VB) der Fingertemperaturverläufe von L1 - R5 für VP 9

Curriculum vitae

- 17.12.1962 geboren in Frankfurt, Hessen, als Sohn
des Arztes Dr. Günter Steeger und seiner
Ehefrau Gisela Steeger, geborene Schwarz
- 1968 - 1973 Besuch der Volksschule "Eichgrundschule"
in Rüsselsheim, Hessen
- 1973 - 1979 Besuch des Max-Planck-Gymnasiums in
Rüsselsheim
- 1979 - 1982 Besuch des Immanuel-Kant-Gymnasiums in
Rüsselsheim
- 1982 Reifeprüfung am Immanuel-Kant-Gymnasium
- ab Winter-
semester 1982 Studium der Human-Medizin an der Johannes
Gutenberg-Universität in Mainz
- August 1984 Ärztliche Vorprüfung
- 1985 Heirat mit Diana von Keitz, Diplom-Betriebs-
wirtin
- August 1985 1. medizinisches Staatsexamen
- Sept. 1985 Geburt unserer Tochter Fabienne Dominique
- Sept. 1987 2. medizinisches Staatsexamen
- November 1987 -
Oktober 1988 Praktisches Jahr in der Hessenklinik
Rüsselsheim (Lehrkrankenhaus der Uni-
versität Mainz)
27. Okt. 1988 3. medizinisches Staatsexamen
23. Nov. 1988 Promotion

Dag Steeger
Amorbacher Str. 25

6090 Rüsselsheim/Mainz

Oktober 1988

